



ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ТЕПЛООБМЕННИКИ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНЫЕ, ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНЫЕ И ВОЗДУХО-ЖИДКОСТНЫЕ ДЛЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Типы и основные параметры

ОСТ 4Г 0.299.205-84

Издание официальное

1985

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ТЕПЛООБМЕННИКИ ВОЗДУХО-ВОЗДУШНЫЕ,
ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНЫЕ
И ВОЗДУХО-ЖИДКОСТНЫЕ
ДЛЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Типы и основные параметры
ОКП 68 9446

ОСТ 4Г 0.299.205-84
Взамен
ОСТ 4Г 0.299.003
Редакция 1-74

Директивным письмом организации от 28.08.84 № 017-107/К/1826 срок действия установлен с 01.01.86 до 01.01.91.

Несоблюдение стандарта преследуется по закону.

Настоящий стандарт распространяется на пластинчато-ребристые теплообменники (далее - теплообменники), предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (СО РЭА).

Стандарт устанавливает типы и основные параметры теплообменников, предназначенных для работы с теплоносителями:

воздух - по ГОСТ 4401-81;

антифриз 65 - по ГОСТ 159-52;

вода дистиллированная - по ГОСТ 6709-72;

жидкости полиметилсилоксановые ПМС-5 и ПМС-10 - по ГОСТ 13032-77;

смесь этиленгликоля - по ГОСТ 19710-74 (первый сорт) или по ГОСТ 10164-75 (ч.д.а. - чистый для анализа) с водой дистиллированной - по ГОСТ 6709-72;

масло трансформаторное - по ГОСТ 982-80.

1. ТИПЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

1.1. Стандарт устанавливает три типа теплообменников:

ВВ - воздухо-воздушные теплообменники, обеспечивающие передачу тепла между двумя потоками воздуха;

ЖЖ - жидкостно-жидкостные теплообменники, обеспечивающие передачу тепла между двумя жидкими теплоносителями;

ВЖ - воздухо-жидкостные теплообменники, обеспечивающие передачу тепла между потоком воздуха и жидким теплоносителем.

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

2.1. Основные параметры и типоразмеры теплообменников должны соответствовать значениям, указанным в табл. 1.

Указанные в табл. 1 величины рабочего давления и рабочей температуры не определяют условий эксплуатации теплообменников, а предназначены для определения минимального предела механической прочности теплообменников. Конструкция теплообменников, разработанных в соответствии с настоящим стандартом, должна быть рассчитана на максимальные значения давления и температуры, указанные в табл. 1, либо превышающие их.

ГР 8342829 от 21.02.85

Таблица 1

Типоразмер теплообменника	Площадь теплопередающей поверхности, $м^2$, не менее	Рабочее давление, кПа, не менее		Рабочая температура, ^oC, не менее		Вместимость жидкостной полости, $м^3 \cdot 10^{-3}$**, ~~не более~~	Масса, кг, не более	Коэффициент материалоемкости, $кг/м^2$, не более	Код ОКП
		по воздуху	по жидкости	по воздуху	по жидкости				
ВВ0,9	0,90	200	–	100	–	–	3	3,4	68 9446 9013
ВВ3,9	3,90		–		–	–	7	1,8	68 9446 9014
ВВ7,4	7,40		–		–	–	11	1,5	68 9446 9015
ВВ11,8	11,80		–		–	–	15	1,3	68 9446 9016
ЖЖ0,06	0,06	–	980	–	100	2* · 0,07	2	34,0	68 9446 9028
ЖЖ0,24	0,24	–		–		2* · 0,20	3	12,5	68 9446 9029
ЖЖ0,54	0,54	–		–		2* · 0,40	5	9,3	68 9446 9031
ЖЖ1,32	1,32	–		–		2* · 0,95	10	7,6	68 9446 9032
ВЖ0,8	0,80	200	980	100	100	0,60	9	11,3	68 9446 9017
ВЖ1,1	1,10					0,70	9	8,2	68 9446 9018
ВЖ2,4	2,40					1,30	15	6,3	68 9446 9019
ВЖ4,8	4,80					2,90	24	5,0	68 9446 9021
ВЖ7,9	7,90					4,30	33	4,2	68 9446 9022

* Количество полостей теплообменника.

** Параметр справочный

Коэффициент материалоемкости и массы для теплообменников типов ЖЖ и ВЖ указан при плотности материала 7,85 г/см^3. Для материала с другим значением плотности коэффициент материалоемкости и массу необходимо умножить на величину $\frac{\rho}{7,85}$, где ρ – плотность используемого материала, г/см^3.

Код ОКП указан для теплообменников, изготовленных из следующих материалов:

типы ВВ и ВЖ – алюминиевые сплавы;

тип ЖЖ – нержавеющая сталь.

2.2. Каждый тип теплообменников состоит из ряда типоразмеров.

Типоразмер теплообменника определяет величина минимальной площади теплопередающей поверхности.

Основные размеры теплообменников должны соответствовать значениям:

для типа ВВ – указанным на черт. 1 и в табл. 2;

для типа ЖЖ – указанным на черт. 2 и в табл. 3;

для типа ВЖ – указанным на черт. 3 и в табл. 4.

2.3. Черт. 1–3 не определяют конструктивных элементов теплообменников. Количество и диаметр крепежных отверстий определяют расчетом в процессе разработки конкретного изделия в зависимости от условий эксплуатации.

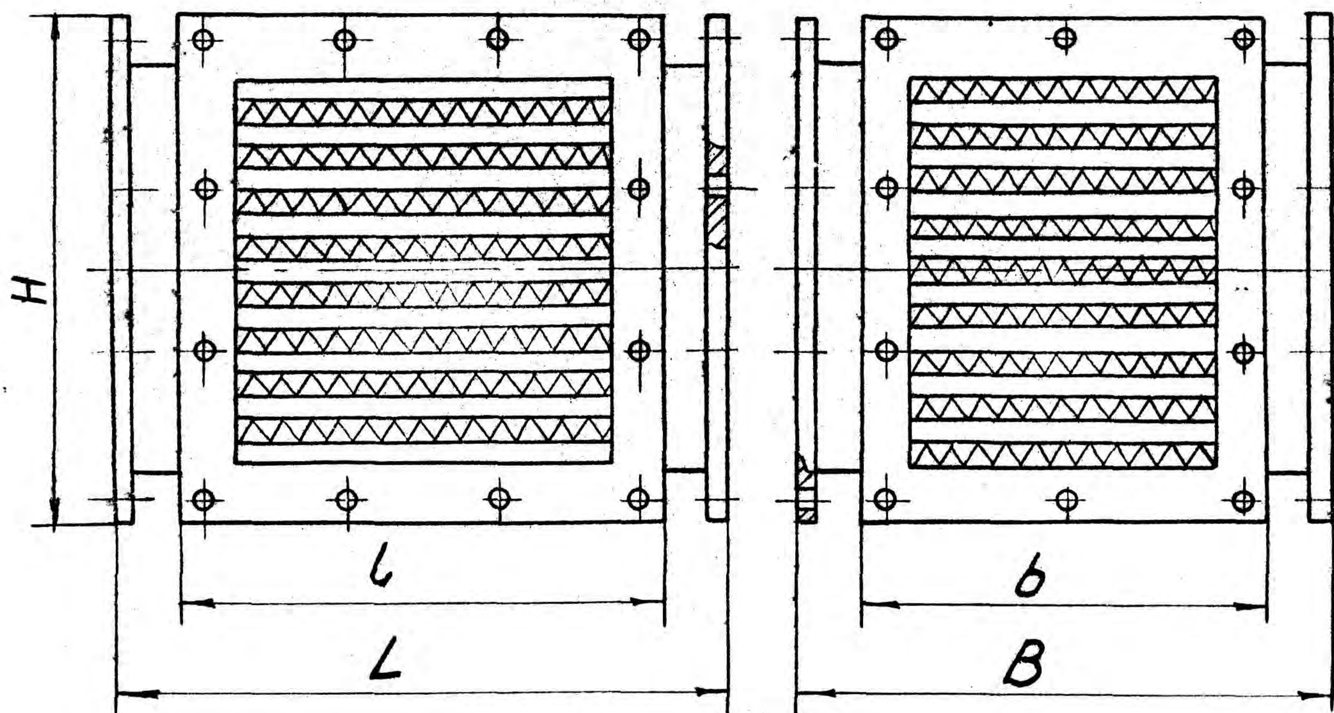
Примеры конструкций теплообменников типов ВВ, ЖЖ и ВЖ приведены в рекомендуемом приложении 1.

2.4. В конструкции теплообменников типов ЖЖ и ВЖ должны быть предусмотрены отверстия для слива жидкости (выпуска воздуха).

2.5. Исполнения теплообменника определяют различные сочетания расположения присоединительных патрубков и отверстий для слива жидкости (выпуска воздуха).

Пример расположения отверстий для слива жидкости (выпуска воздуха) в теплообменниках типа ЖЖ указан на черт. 2.

Воздухо-воздушные теплообменники



Черт. 1

Т а б л и ц а 2

мм

Типоразмер теплообменника	H	L	l	B	b
ВВ0,9	165	200	165	175	130
ВВ3,9		325	282	275	232
ВВ7,4	282				
ВВ11,8	444				

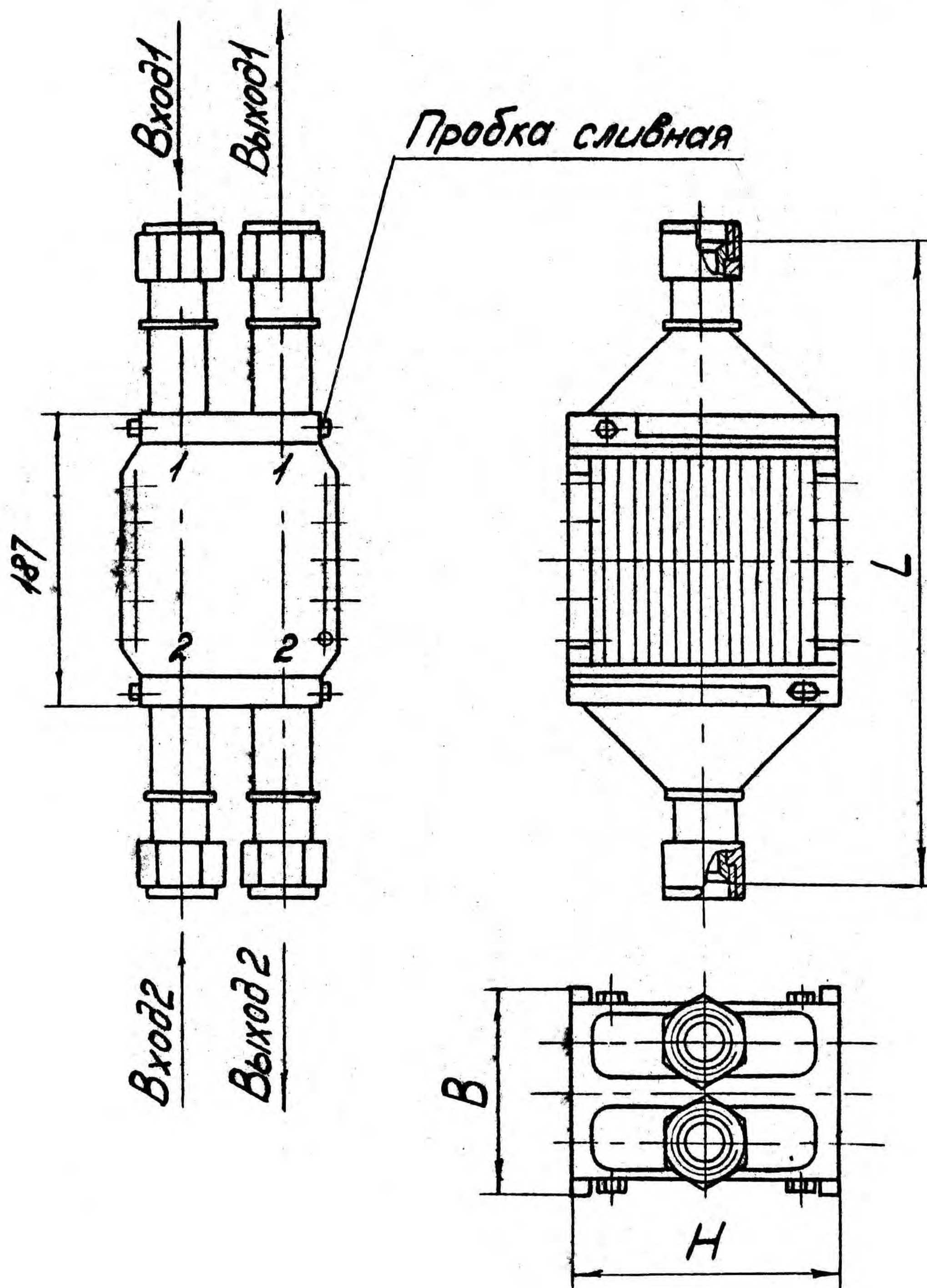
Примеры расположения присоединительных патрубков и отверстий для слива жидкости (выпуска воздуха) в теплообменниках типа ВЖ приведены в рекомендуемом приложении 1.

2.6. Конструкции присоединительных патрубков теплообменников типов ЖЖ и ВЖ должны соответствовать требованиям ~~ОСТ 4Г 0.647.200-80,~~ ГОСТ 13977-74.

2.7. Для получения необходимой площади теплопередающей поверхности допускается компоновка теплообменников в блоки. Общие рекомендации и примеры компоновки теплообменников каждого типа приведены в рекомендуемом приложении 2.

2.8. Примеры расчета и выбора теплообменников приведены в справочном приложении 3.

Жидкостно-жидкостные теплообменники



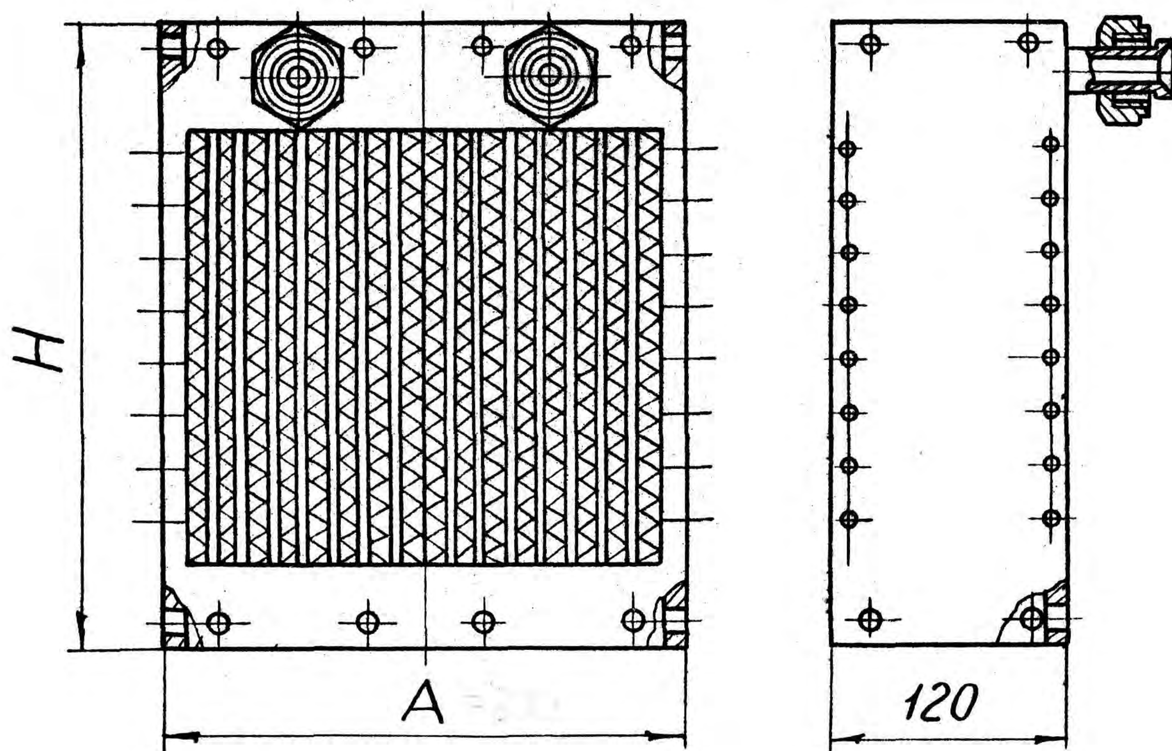
Черт. 2

Таблица 3

мм

Типоразмер теплообменника	B	H	L
ЖЖ0,06	85	24	248
ЖЖ0,24	125	37	276
ЖЖ0,54		69	
ЖЖ1,32		152	356

Воздухо-жидкостные теплообменники



Черт. 3

Таблица 4

мм

Типоразмер теплообменника	A	H
ВЖ0,8	137	150
ВЖ1,1		180

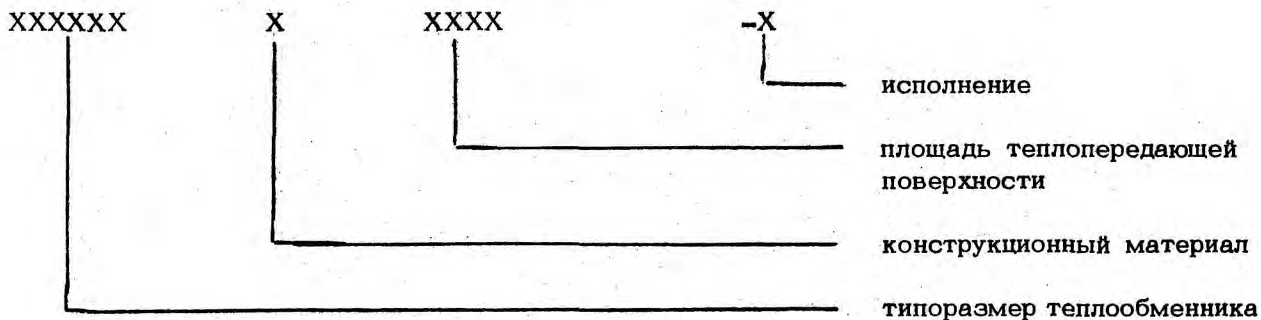
Продолжение табл. 4

<table>
<tr><th>Типоразмер теплообменника</th><th>A</th><th>H</th></tr>
<tr><td>ВЖ2,4</td><td>137</td><td rowspan="2">330</td></tr>
<tr><td>ВЖ4,8</td><td rowspan="2">274</td></tr>
<tr><td>ВЖ7,9</td><td>510</td></tr>
</table>

3. УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

3.1. Условное обозначение теплообменника должно состоять из слова "теплообменник"; обозначения типоразмера, состоящего из начальных букв "ВВ", "ЖЖ" или "ВЖ" и цифр, означающих минимально допустимую площадь теплопередающей поверхности в квадратных метрах, соответствующую данному типоразмеру; первой прописной буквы из названия конструкционного материала (если это алюминиевые сплавы, то буква не проставляется); цифр (не более двух после запятой), означающих действительную площадь теплопередающей поверхности в квадратных метрах (если она отличается от минимально допустимой не более чем на 5 %, то эти цифры не проставляются), и номера исполнения для жидкостно-жидкостных и воздухо-жидкостных теплообменников (примеры исполнений для воздухо-жидкостных теплообменников приведены в рекомендуемом приложении 1).

Структурная схема условного обозначения теплообменника



3.2. Пример условного обозначения теплообменников:

воздухо-воздушный теплообменник типоразмера ВВ0,9 из алюминиевых сплавов с площадью теплопередающей поверхности 0,92 м^2:

теплообменник ВВ0,9;

жидкостно-жидкостный теплообменник типоразмера ЖЖ0,24 из титановых сплавов с площадью теплопередающей поверхности 0,26 м^2:

теплообменник ЖЖ0,24Т0,26;

воздухо-жидкостный теплообменник типоразмера ВЖ4,8 из нержавеющей стали с площадью теплопередающей поверхности 7,83 м^2 исполнения 1 (согласно рекомендуемому приложению 1):

теплообменник ВЖ4,8Н7,83-1;

воздухо-жидкостный теплообменник типоразмера ВЖ7,9 из алюминиевых сплавов с площадью теплопередающей поверхности 7,95 м^2 исполнения 3 (согласно рекомендуемому приложению 1):

теплообменник ВЖ7,9-3.

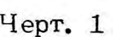
ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

1. В качестве примера на черт. 1 и в табл. 1 приведены конструкции воздухо-воздушных теплообменников из алюминиевых сплавов по ОСТ 4Г 0.299.203, на черт. 2 и в табл. 2 - жидкостно-жидкостных теплообменников из нержавеющей стали по 5Ы0.229.024ТУ, а на черт. 3-9 и в табл. 3 и 4 - воздухо-жидкостных теплообменников из алюминиевых сплавов, по ОСТ 4Г0.299.202 (1)

2. При конструировании СО РЭА рекомендуется располагать присоединительные патрубки и отверстия для слива жидкости (выпуска воздуха) таким образом, чтобы обеспечить удобство эксплуатации теплообменника.

Воздухо-воздушные теплообменники



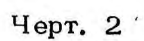
Черт. 1

Таблица 1

мм

<table>
<tr><th>Типоразмер теплообменника</th><th>B</th><th>b</th><th>b_1</th><th>b_2</th><th>H</th><th>h</th><th>h_1</th><th>L</th><th>l</th><th>l_1</th><th>l_2</th><th>n</th><th>n_1</th><th>n_2</th><th>n_3</th><th>n_4</th></tr>
<tr><td>BB0,9</td><td>175</td><td>130</td><td>118</td><td>59</td><td rowspan="2">165</td><td rowspan="2">153</td><td rowspan="2">51</td><td>200</td><td>165</td><td>153</td><td>51</td><td>2</td><td rowspan="2">3</td><td>3</td><td>10</td><td>12</td></tr>
<tr><td>BB3,9</td><td rowspan="3">275</td><td rowspan="3">232</td><td rowspan="3">220</td><td rowspan="3">55</td><td rowspan="3">325</td><td rowspan="3">282</td><td rowspan="3">270</td><td rowspan="3">54</td><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">5</td><td>14</td><td>16</td></tr>
<tr><td>BB7,4</td><td>282</td><td>270</td><td rowspan="2">54</td><td>5</td><td>18</td><td>20</td></tr>
<tr><td>BB11,8</td><td>444</td><td>432</td><td>8</td><td>24</td><td>26</td></tr>
</table>

Жидкостно-жидкостные теплообменники



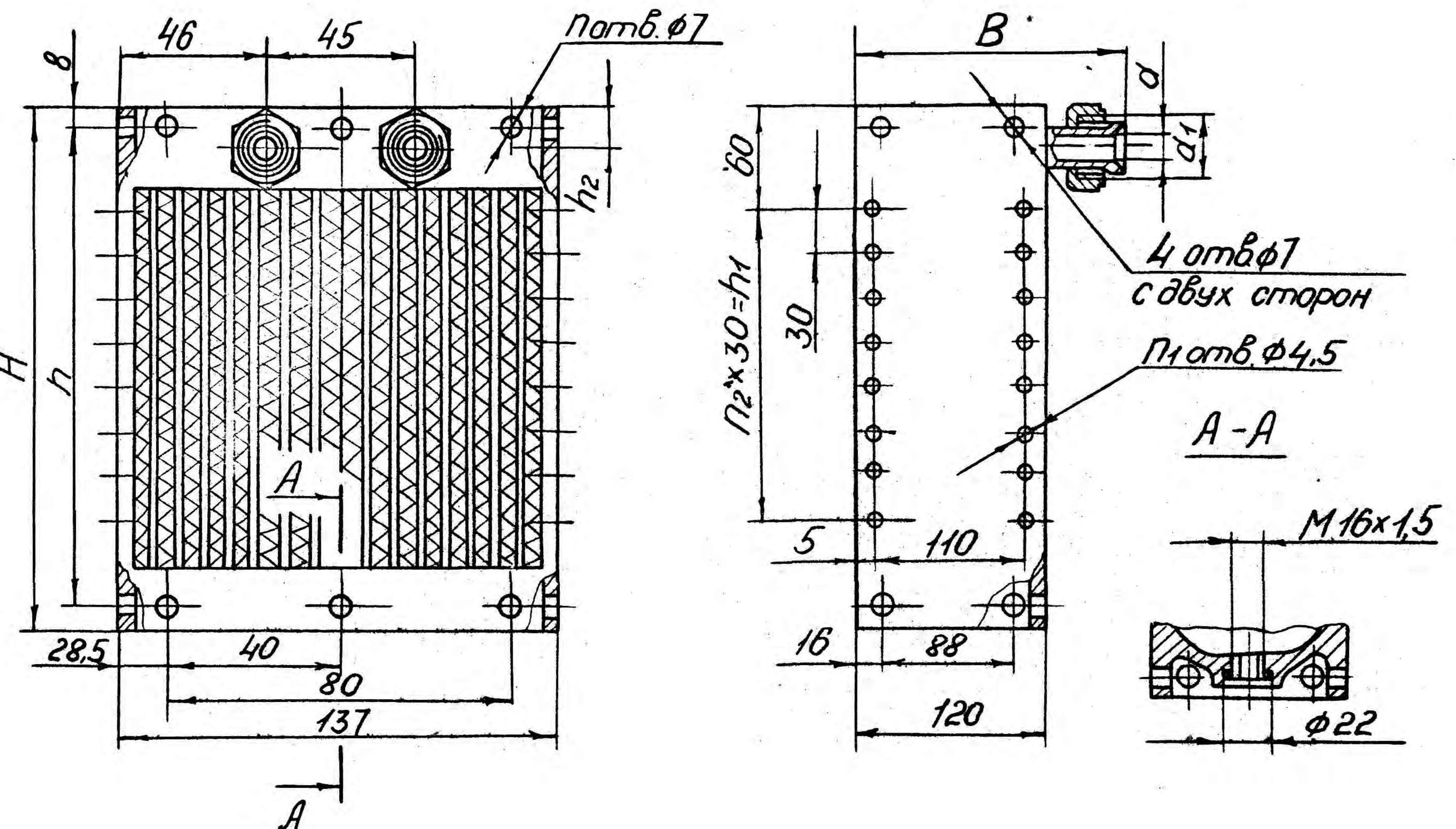
Черт. 2

Таблица 2

мм

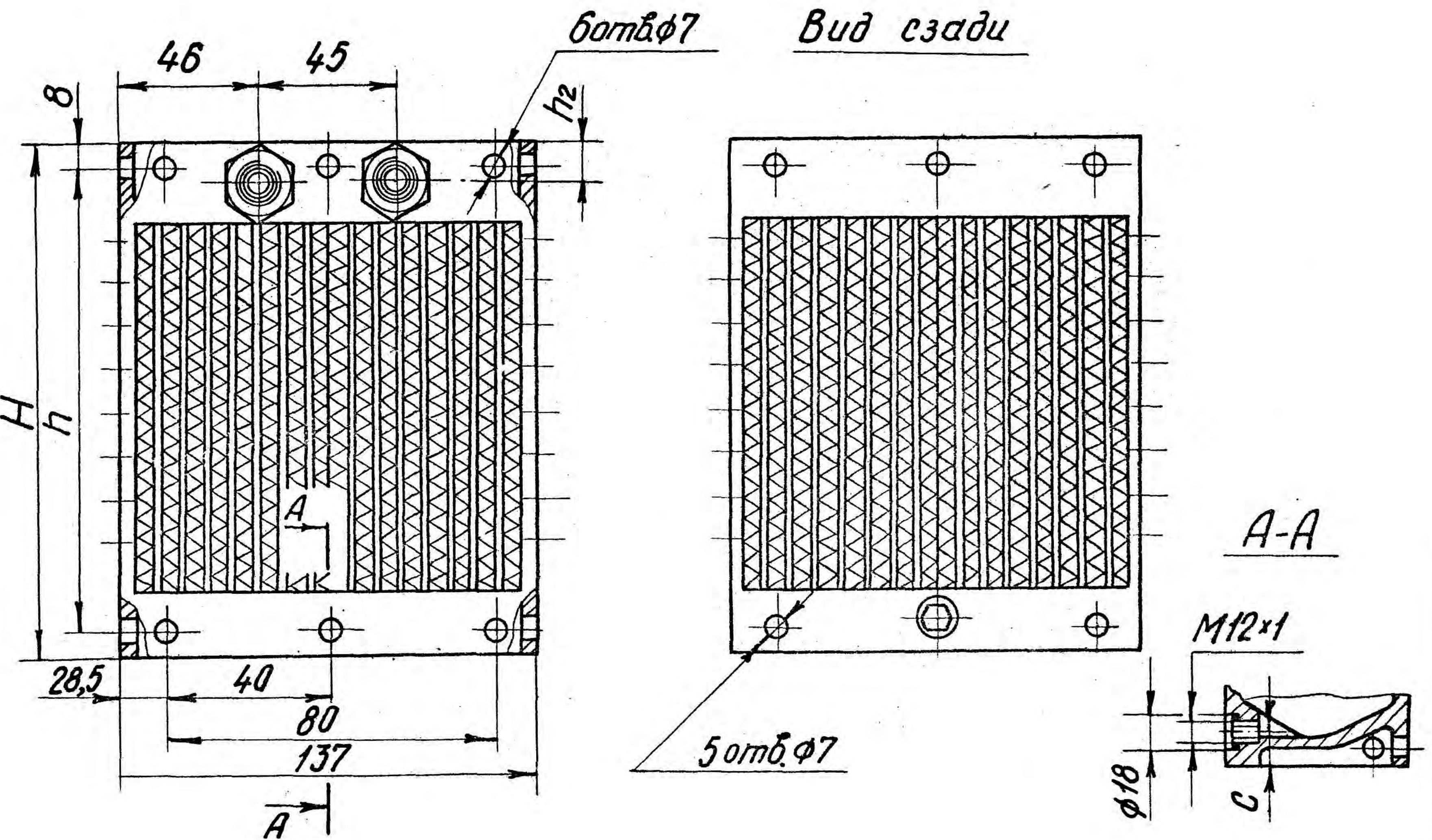
<table>
<tr><th>Типоразмер теплообменника</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>H</th><th>L</th><th>d</th><th>D</th></tr>
<tr><td>ЖЖ0,06</td><td>30</td><td>85</td><td>72</td><td>24</td><td>248</td><td>8</td><td>M16x1</td></tr>
<tr><td>ЖЖ0,24</td><td>45</td><td rowspan="3">125</td><td rowspan="3">112</td><td>37</td><td rowspan="2">276</td><td>12</td><td>M22x1,5</td></tr>
<tr><td>ЖЖ0,54</td><td>50</td><td>69</td><td>22,6</td><td>M33x2</td></tr>
<tr><td>ЖЖ1,32</td><td>58</td><td>152</td><td>356</td><td>29,6</td><td>M42x2</td></tr>
</table>

Теплообменники типоразмеров ВЖ0,8; ВЖ1,1; ВЖ2,4
(исполнение 1)



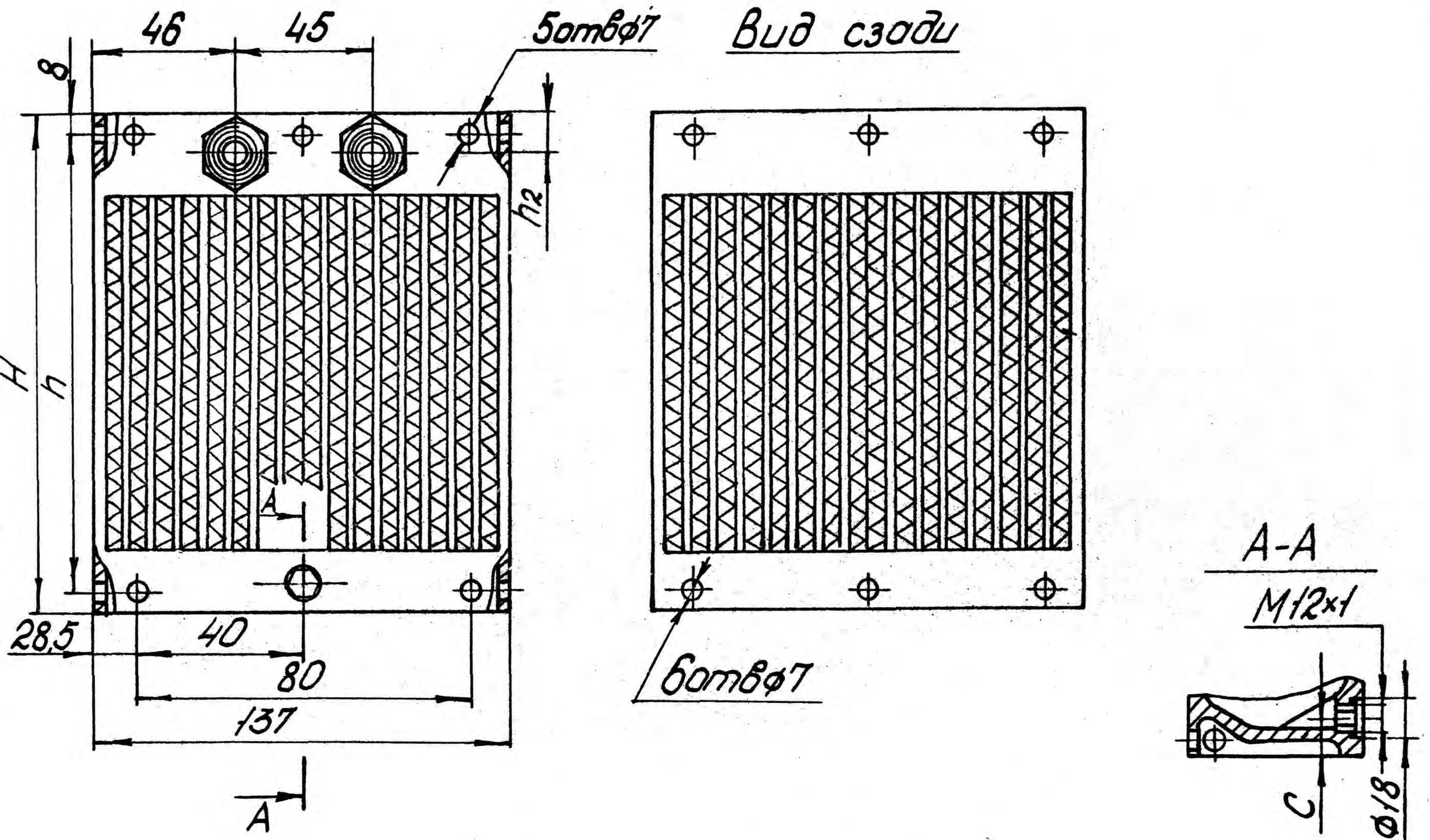
Черт. 3

Теплообменники типоразмеров ВЖО,8; ВЖ1,1; ВЖ2,4
(исполнение 2)



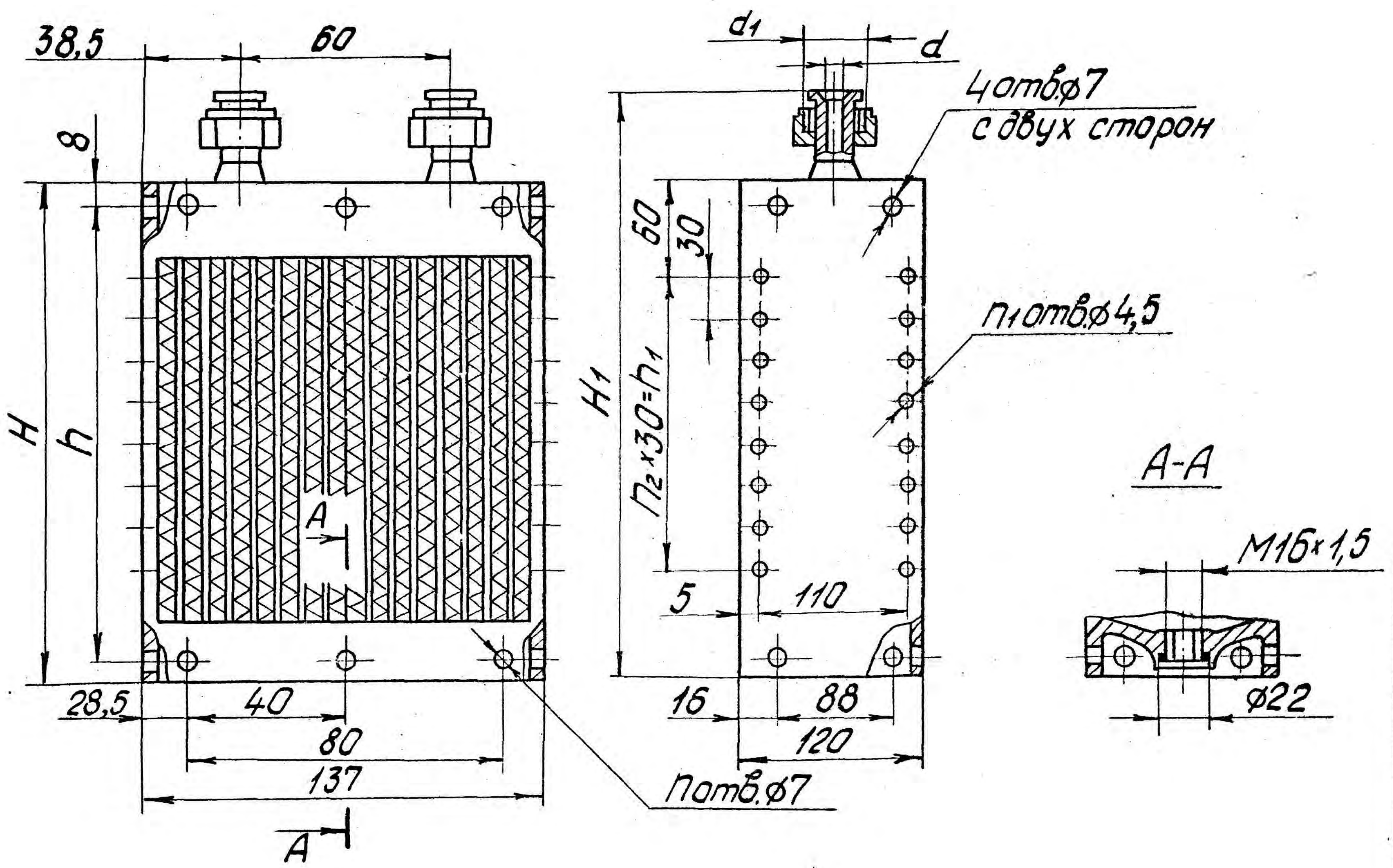
Черт. 4

Теплообменники типоразмеров ВЖ0,8; ВЖ1,1; ВЖ2,4
(исполнение 3)



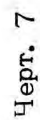
Черт. 5

Теплообменники типоразмеров ВЖ0,8; ВЖ1,1; ВЖ2,4
(исполнение 4)



Черт. 6

Теплообменники типоразмеров ВЖ0,8; ВЖ1,1; ВЖ2,4
(исполнение 5)



Черт. 7

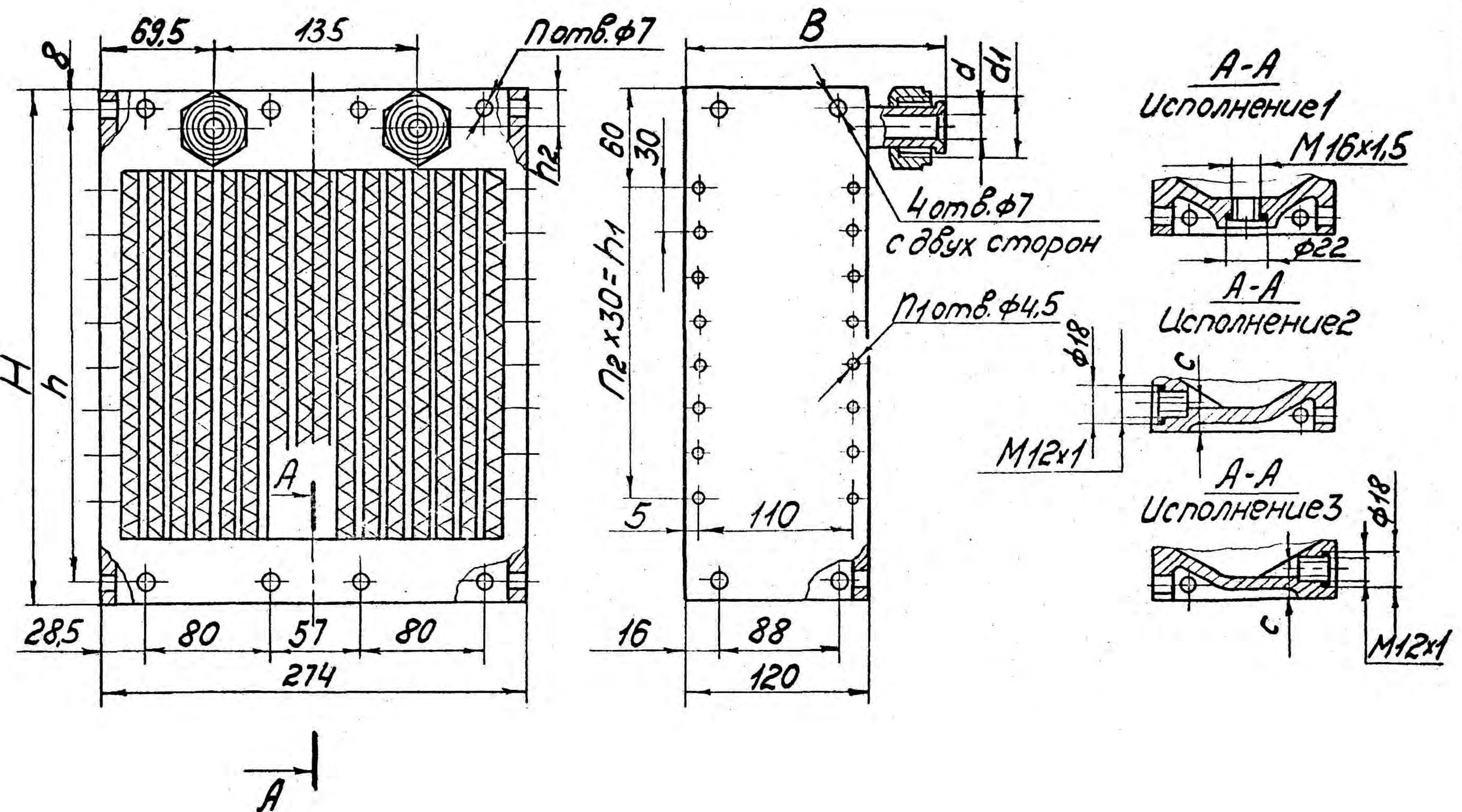
Таблица 3

мм

Типоразмер теплообменника	Исполнение	B	H	H_1	h	h_1	h_2	C	d	d_1	n	n_1	n_2
ВЖ0,8	1	156	150	–	134	30	16	–	11	М22х1,5	12*	8*	1
	2							12			–		
	3												
	4	–		185			–	–			12*		
	5							12			–		
ВЖ1,1	1	156	180	–	164	60	16	–			12*	12*	2
	2							12			–		
	3												
	4	–		215			–	–			12*		
	5							12			–		
ВЖ2,4	1	160	330	–	314	210	21	–	17	М30х1,5	12*	32*	7
	2							12			–		
	3												
	4	–		370			–	–			12*		
	5							12			–		

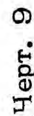
* Количество отверстий указано с двух сторон.

Теплообменники типоразмеров ВЖ4,8; ВЖ7,9
(исполнения 1, 2, 3)



Черт. 8

Теплообменники типоразмеров ВЖ4,8; ВЖ7,9
(исполнения 4, 5)



А-А
Исполнение 4

А-А
Исполнение 5

4отв. ⌀7
с двух сторон

n₁отв. ⌀4,5

nотв. ⌀7

M16x1,5

⌀22

M12x1

⌀18

n₂x30=h₁

H₁

H

Ч

Черт. 9

Таблица 4

мм

Типоразмер теплообменника	Исполнение	B	H	H_1	h	h_1	h_2	C	d	d_1	n	n_1	n_2
ВЖ4,8	1	164	330	-	314	210	21	-	22	М33х2	16*	32*	7
	2							12					
	3												
	4	-		370			-	-					
	5							12					
ВЖ7,9	1	165	510	-	494	390	27	-	29	М42х2		56*	13
	2							12					
	3												
	4	-		555			-	-					
	5							12					

* Количество отверстий указано с двух сторон.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

КОМПОНОВКА ТЕПЛООБМЕННИКОВ В БЛОКИ

1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1.1. С целью унификации и взаимозаменяемости составных частей СО рекомендуется компоновать блоки из теплообменников одного типоразмера.

1.2. В блоке теплообменники могут соединяться между собой параллельно, последовательно и параллельно-последовательно. Вид соединения определяют требуемыми значениями коэффициента теплопередачи и потери напора (см. справочное приложение 3).

1.3. Теплообменники, скомпонованные в блоки, рекомендуется крепить на несущую конструкцию объекта индивидуально. В технически обоснованных случаях допускается производить крепление блока в целом.

1.4. В блоках жидкостно-жидкостных и воздухо-жидкостных теплообменников отверстия для слива жидкости (выпуска воздуха) могут объединяться при помощи трубопроводов в общую магистраль, заканчивающуюся запорным устройством.

При последовательном соединении теплообменников в блоке на сливных магистралях после каждого теплообменника необходимо установить запорные устройства.

2. КОМПОНОВКА ВОЗДУХО-ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

2.1. Теплообменники типоразмеров ВВ3,9; ВВ7,4; ВВ11,8 компонуют в блоки различных размеров по фронту и глубине. Пример компоновки представлен на черт. 1.

2.2. Теплообменники типоразмера ВВ0,9 компонуют в блоки любых размеров по фронту и глубине, черт. 2.

3. КОМПОНОВКА ЖИДКОСТНО-ЖИДКОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

3.1. Теплообменники типоразмеров ЖЖ0,24; ЖЖ0,54; ЖЖ1,32 компонуют в блоки различных размеров. Пример компоновки представлен на черт. 3.

3.2. Теплообменники типоразмера ЖЖ0,6 компонуют в блоки любых размеров.

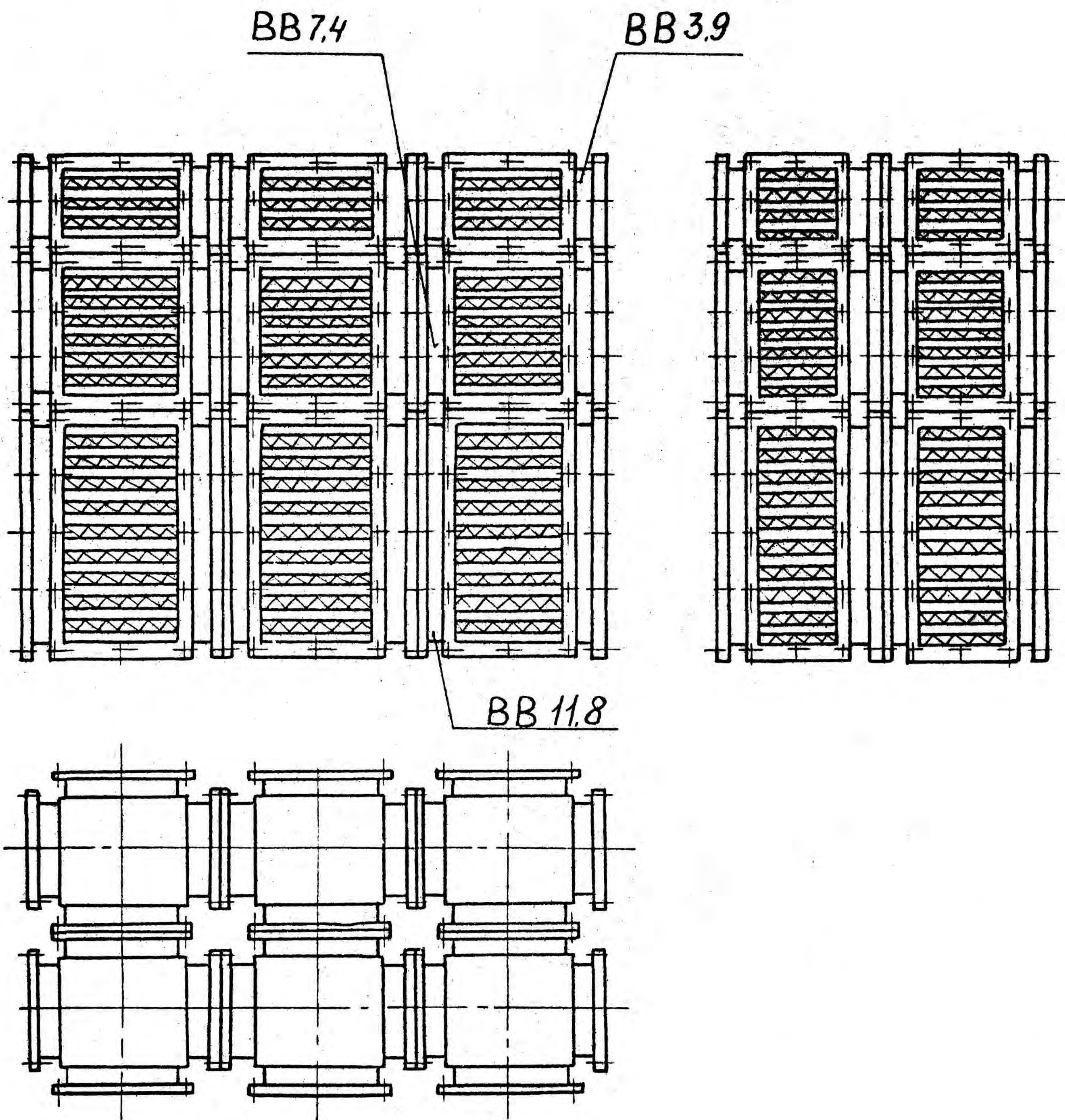
4. КОМПОНОВКА ВОЗДУХО-ЖИДКОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

4.1. Теплообменники типа ВЖ компонуют в блоки различных размеров по фронту и глубине. Форма блока определяется конструктивными особенностями СО.

4.2. Рабочее положение теплообменника определяется возможностью использования отверстия для слива жидкости (выпуска воздуха).

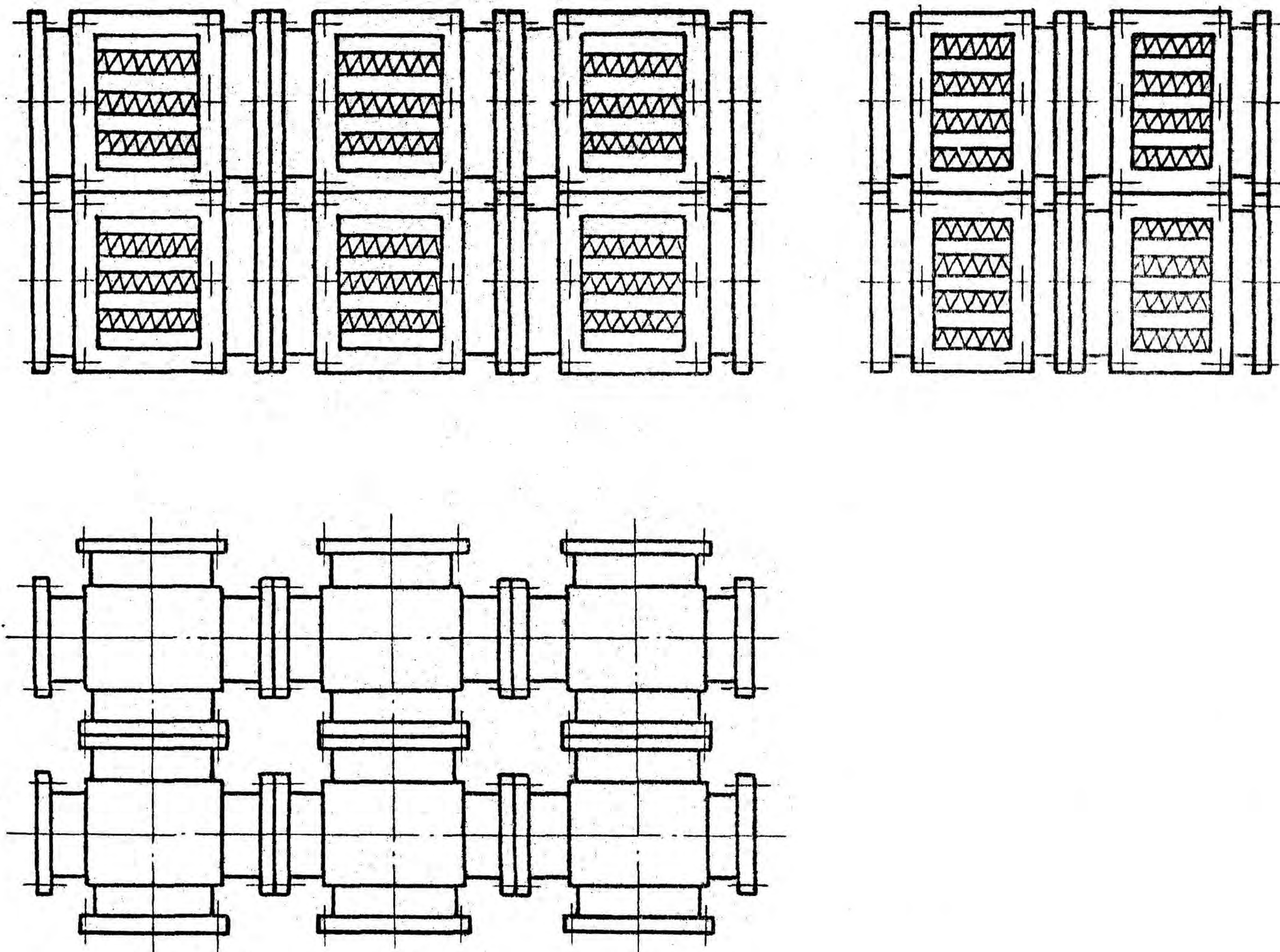
4.3. Примеры некоторых вариантов компоновки теплообменников типа ВЖ в блоки приведены на черт. 4-9.

Компоновка в блок теплообменников типа ВВ



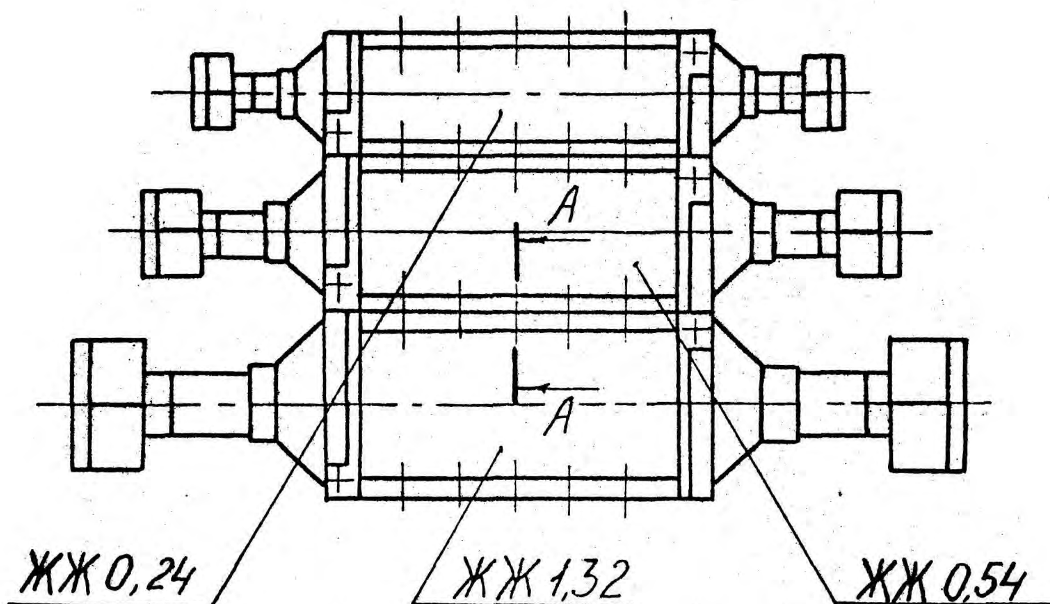
Черт. 1

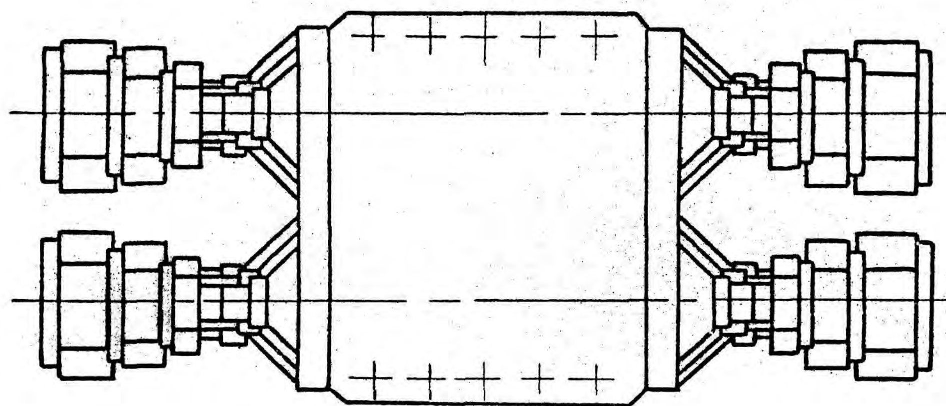
Компоновка в блок теплообменников типоразмера ВВ0,9



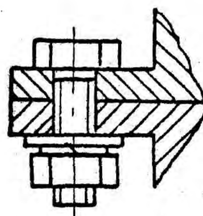
Черт. 2

Компоновка в блок теплообменников типа ЖЖ



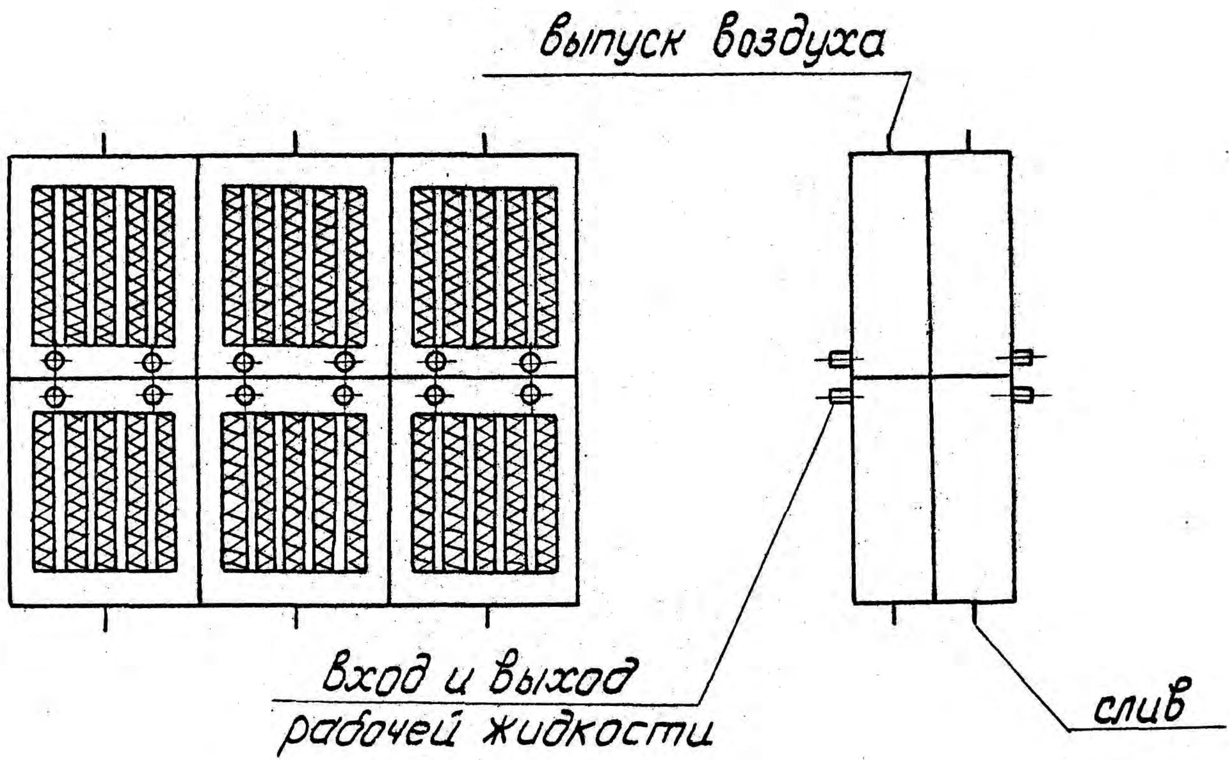


А-А



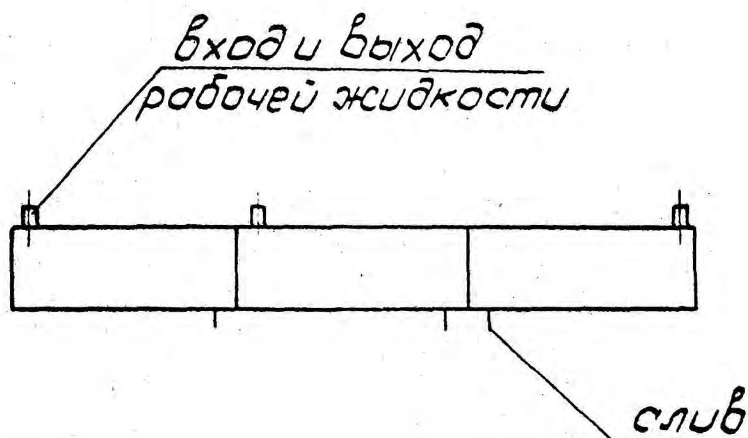
Черт. 3

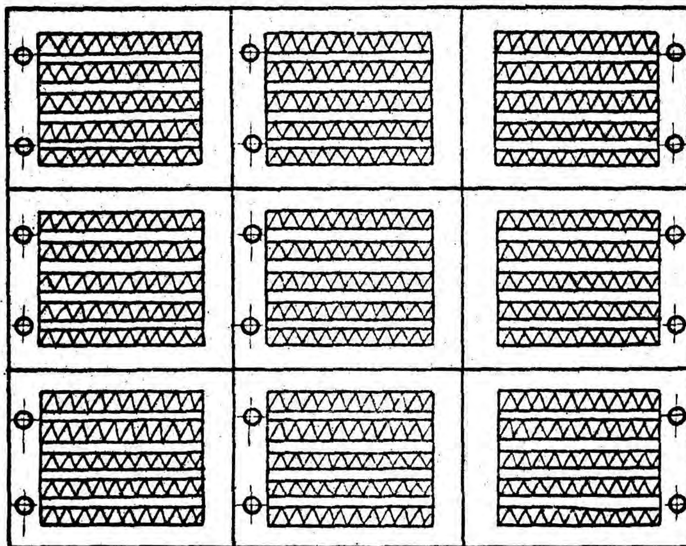
Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
(исполнение 1)



Черт. 4

Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
(исполнение 2)





Черт. 5

Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
(исполнение 3)

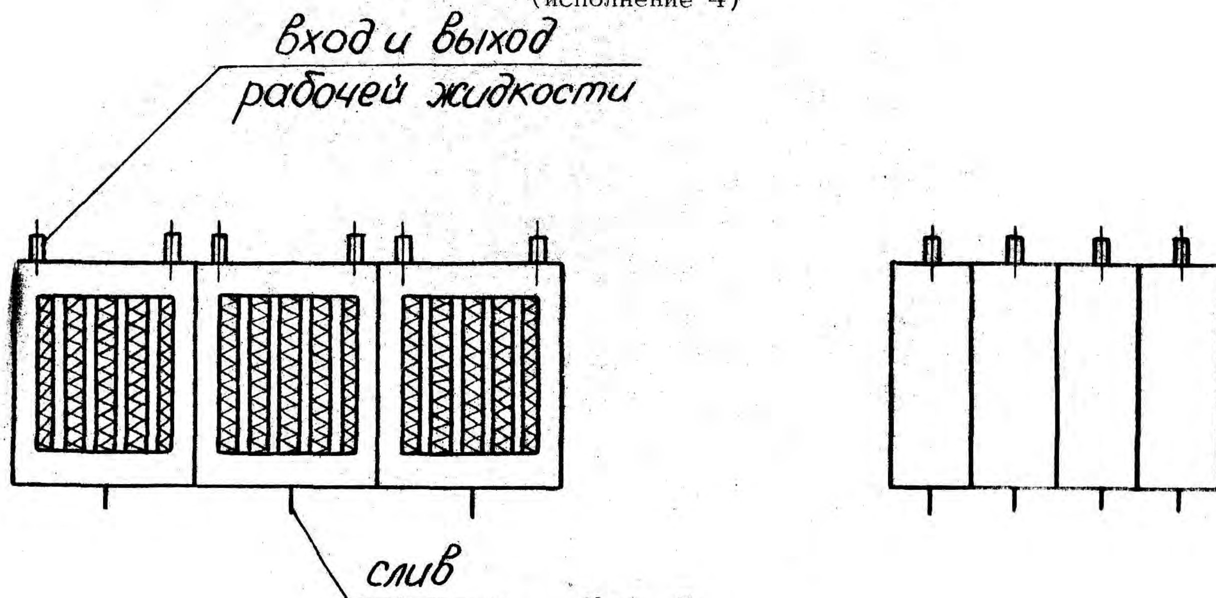
Вход и выход рабочей жидкости

слив

выпуск воздуха

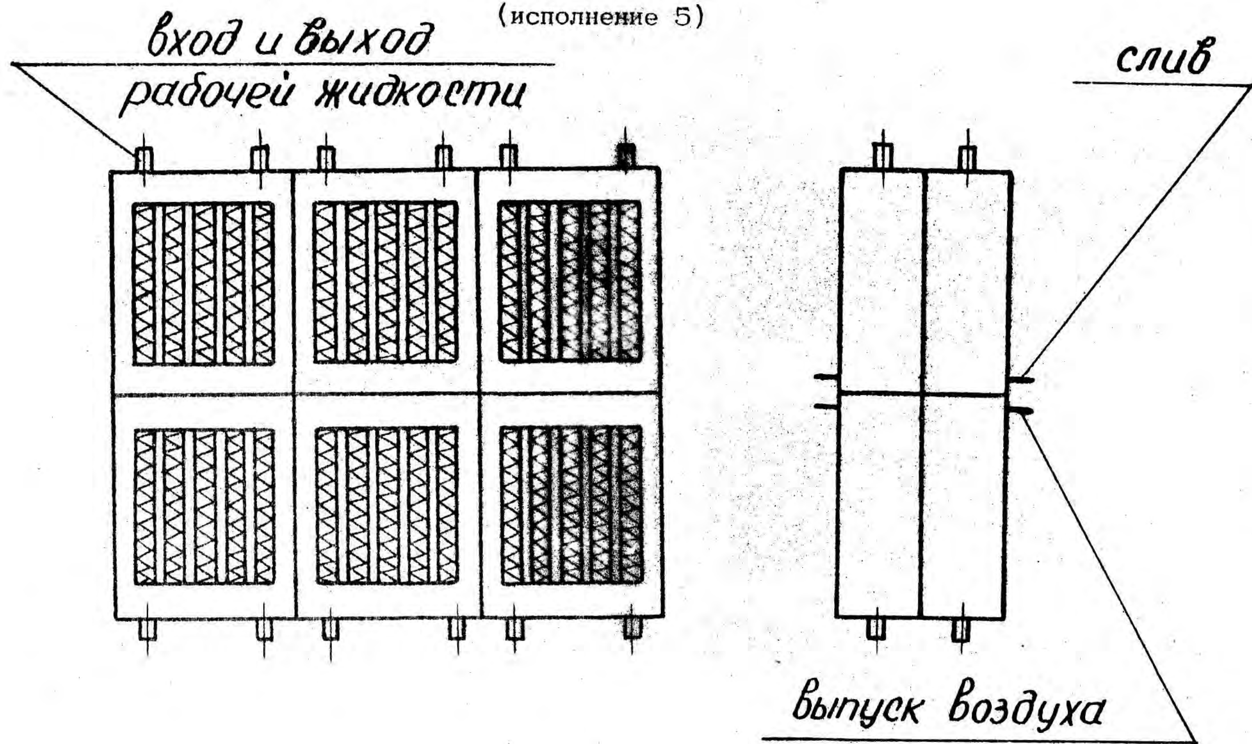
Черт. 6

Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
(исполнение 4)



Черт. 7

Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
(исполнение 5)



Черт. 8

Компоновка в блок теплообменников типа ВЖ
различных исполнений

ВЖ 1,1-5
ВЖ 0,8-3
слив
ВЖ 4,8-1
ВЖ 7,9-4
ВЖ 1,1-1
вход и выход
рабочей жидкости

Черт. 9

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

РАСЧЕТ И ВЫБОР ТЕПЛООБМЕННИКОВ

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

1.1. Условные обозначения и расчетные формулы, применяемые при расчете и выборе теплообменников:

Q – тепловая нагрузка, Вт.
G – расход теплоносителя, м^3/с.
t – температура теплоносителя, ^oC.
t' – температура теплоносителя на входе в теплообменник, ^oC.
t'' – температура теплоносителя на выходе из теплообменника, ^oC.

$t_{cp} = \frac{t' + t''}{2}$ – среднее значение температуры, ^oC.

Δp – потеря напора в теплообменнике, Па.
F – площадь теплопередающей поверхности теплообменника, м^2.
f – площадь свободного сечения теплообменника, м^2.
C_p – теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении, Дж/(кг · ^oC).
ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3.
ν – вязкость теплоносителя, м^2/с.
V – скорость теплоносителя, м/с.
W – водяной эквивалент теплоносителя, Вт/^oC.
$4r_г$ – определяющий размер, м.
$\alpha_{пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи, учитывающий эффективность теплопередающей поверхности, Вт/(м^2 · ^oC).
K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2 · ^oC).
NTU – число единиц переноса тепла.
$\mathcal{E}$ – тепловая эффективность теплообменника.
η_o – эффективность теплопередающей поверхности в целом.
F_p – площадь поверхности оребрения на одной стороне теплообменника, м^2.
L – условная длина теплообменника ~~на~~ по ходу теплоносителя. (1)
h – высота ребра, мм.
t – шаг оребрения, мм.
1, 2 – обозначение контуров теплообменника.
min, max – минимальное и максимальное значения величины.
з – заданное значение величины.
р – расчетное значение величины.

$$W = G \cdot C_p \cdot \rho \ . \qquad (1)$$

$$NTU = \frac{K \cdot F}{W_{min}} \ . \qquad (2)$$

$$\mathcal{E} = \frac{NTU}{\dfrac{NTU}{1 - \ell^{-NTU}} + \dfrac{(W_{min}/W_{max})NTU}{1 - \ell^{-NTU(W_{min}/W_{max})}} - 1}. \qquad (3)$$

$$\mathcal{E} = \frac{1 - \ell^{-NTU(1 - W_{min}/W_{max})}}{1 - \dfrac{W_{min}}{W_{max}} \cdot \ell^{-NTU(1 - W_{min}/W_{max})}}. \qquad (4)$$

$$Q = W_{min}(t'_1 - t'_2) \cdot \mathcal{E}. \qquad (5)$$

$$Q = W_{1(2)} \cdot \left| t'_{1(2)} - t''_{1(2)} \right|. \qquad (6)$$

2. ЦЕЛЬ РАСЧЕТА И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1. Для выполнения расчета по обеспечению теплового режима РЭА при выборе теплообменников решают следующие задачи:

Задача 1

Исходные данные: типоразмер теплообменника (теплообменников), типы теплоносителей, G_1, G_2, t'_1, t'_2, ΔP_1, ΔP_2.

Определить Q, t''_1, t''_2.

Задача 2

Исходные данные: типоразмер теплообменника (теплообменников), типы теплоносителей, G_1, G_2, t'_1 (t'_2), Q, ΔP_1, ΔP_2.

Определить t'_2 (t'_1).

Задача 3

Исходные данные: типоразмер теплообменника (теплообменников), типы теплоносителей, G_1 (G_2), t'_1, t'_2, Q, ΔP_1, ΔP_2.

Определить G_2 (G_1).

Задача 4.

Исходные данные: ряд типоразмеров теплообменников, типы теплоносителей, G_1, G_2, t'_1, t'_2, Q, ΔP_1, ΔP_2.

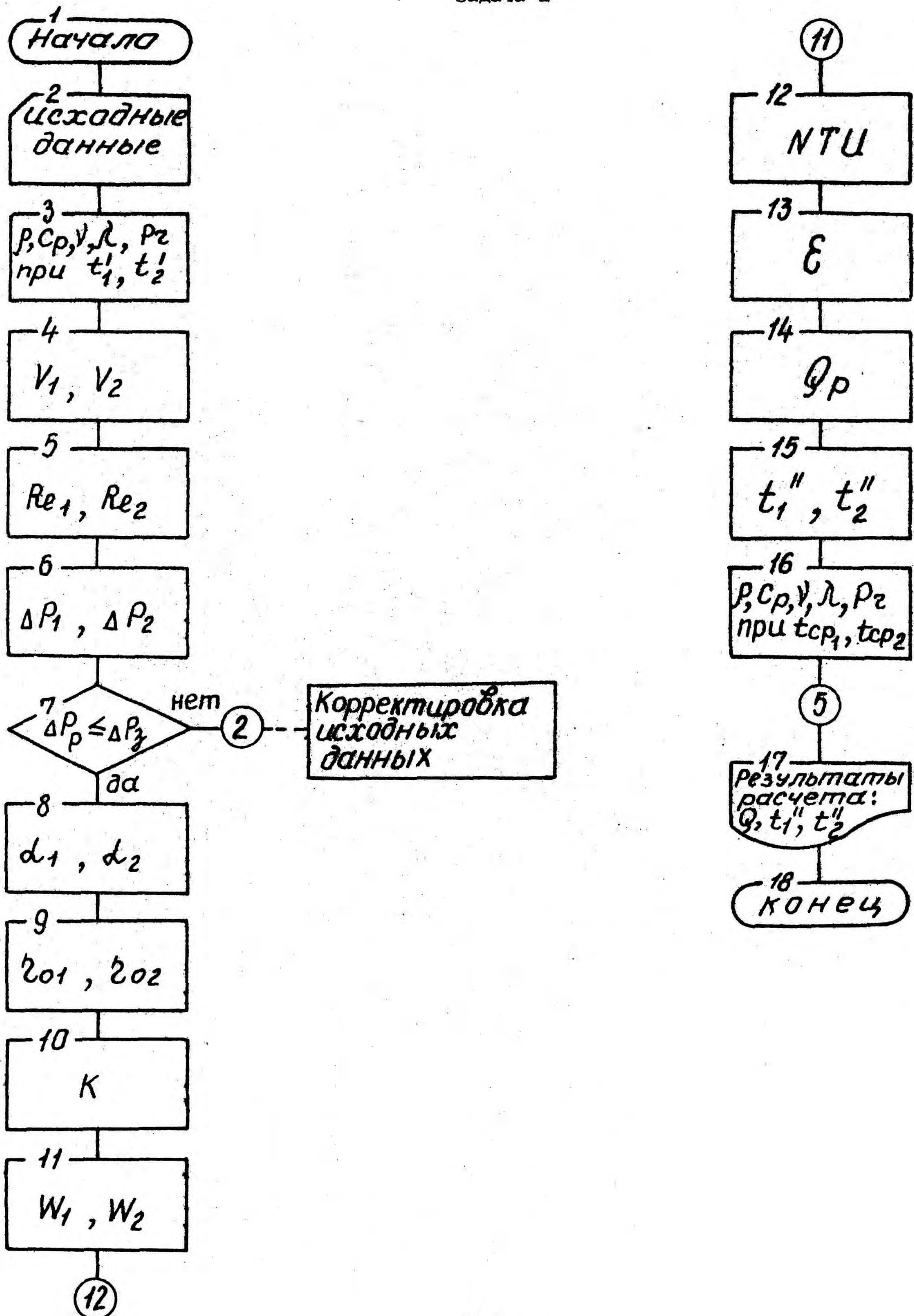
Определить типоразмер теплообменника (количество типоразмеров теплообменников и способ их компоновки), удовлетворяющий заданным условиям.

2.2. Рекомендуемый порядок решения перечисленных задач приведен в разделе 3.

3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКОВ

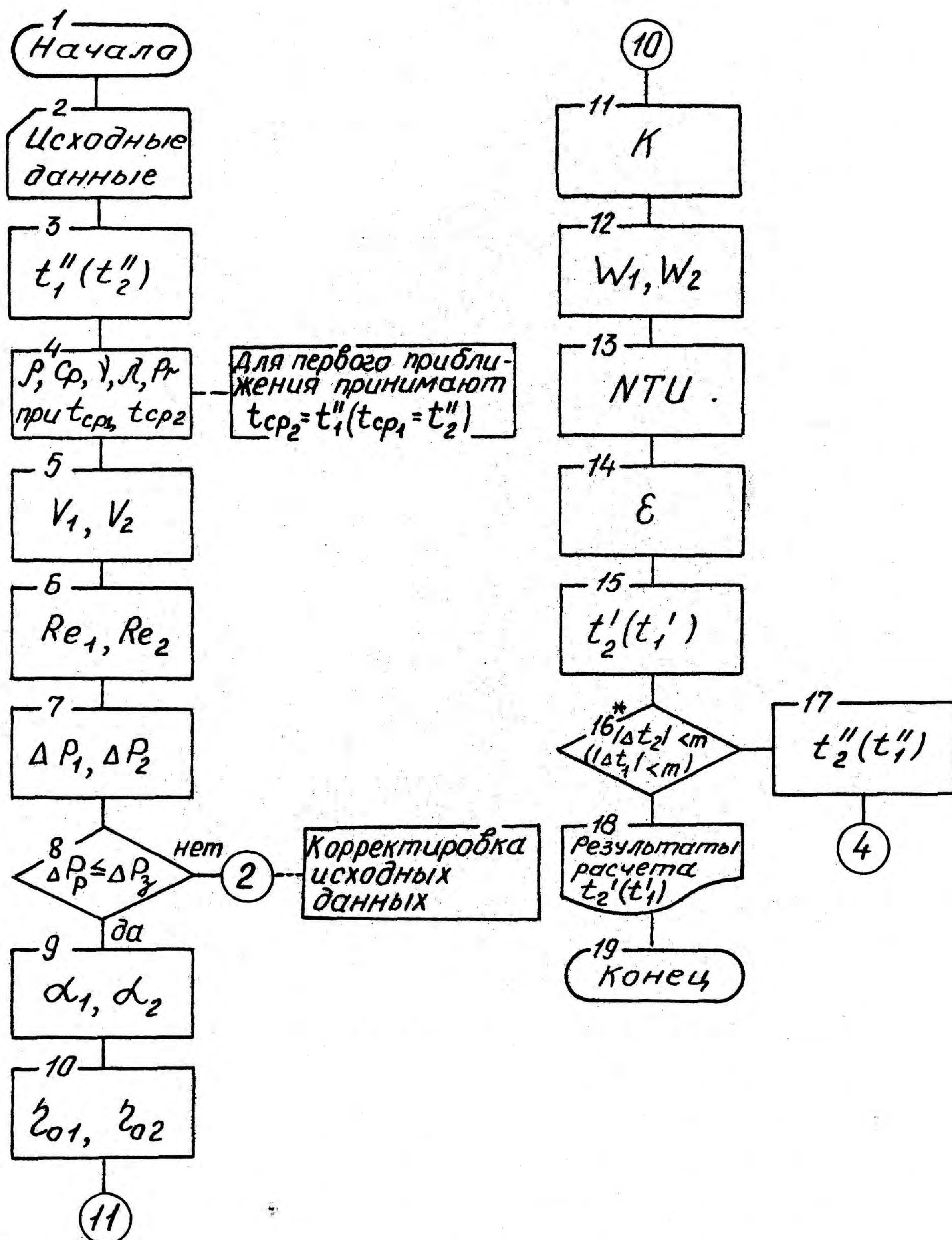
3.1. Порядок расчета теплообменника (блока теплообменников) в общем виде представлен на черт. 1-4 в виде алгоритмов.

Задача 1



Черт. 1

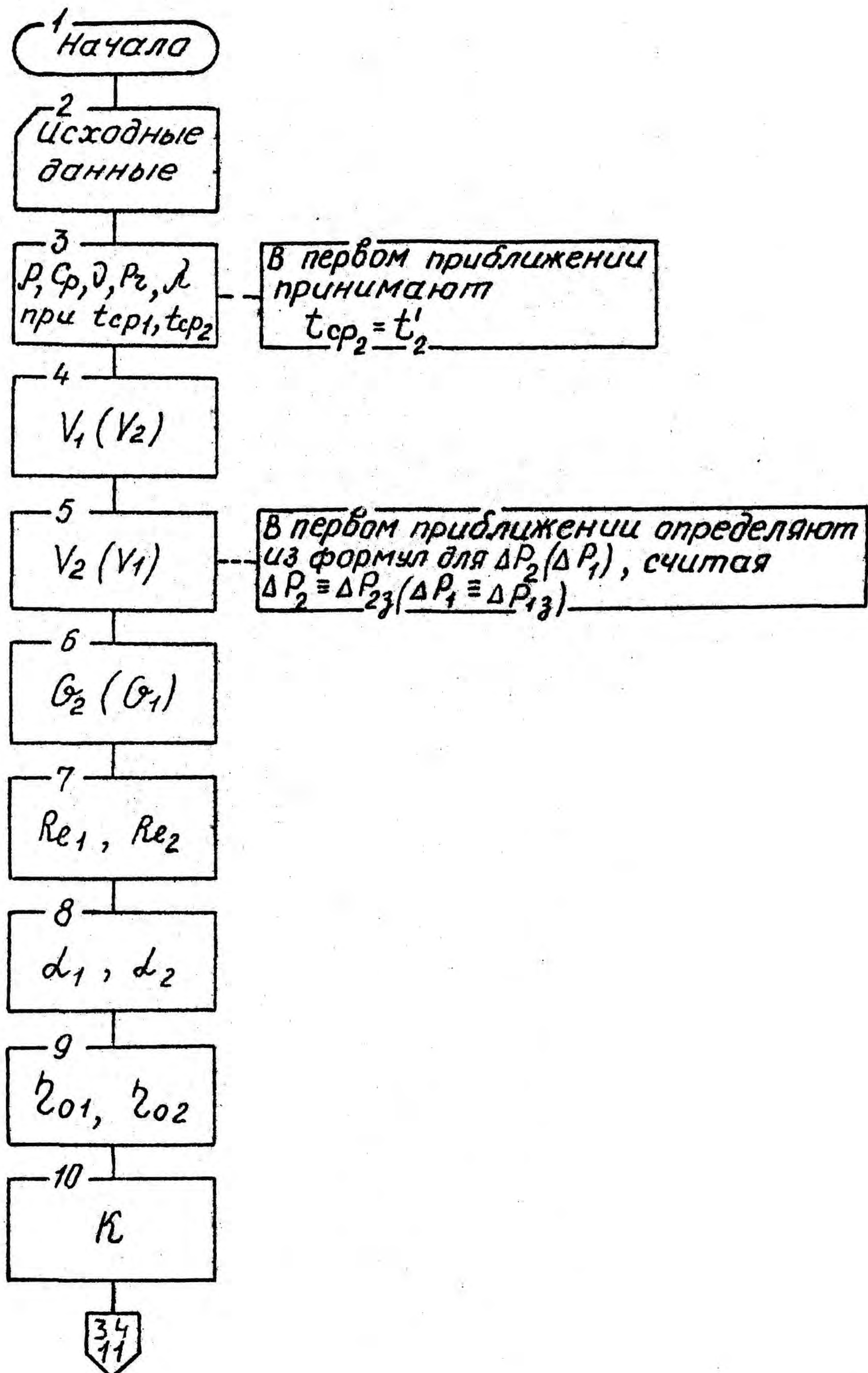
Задача 2



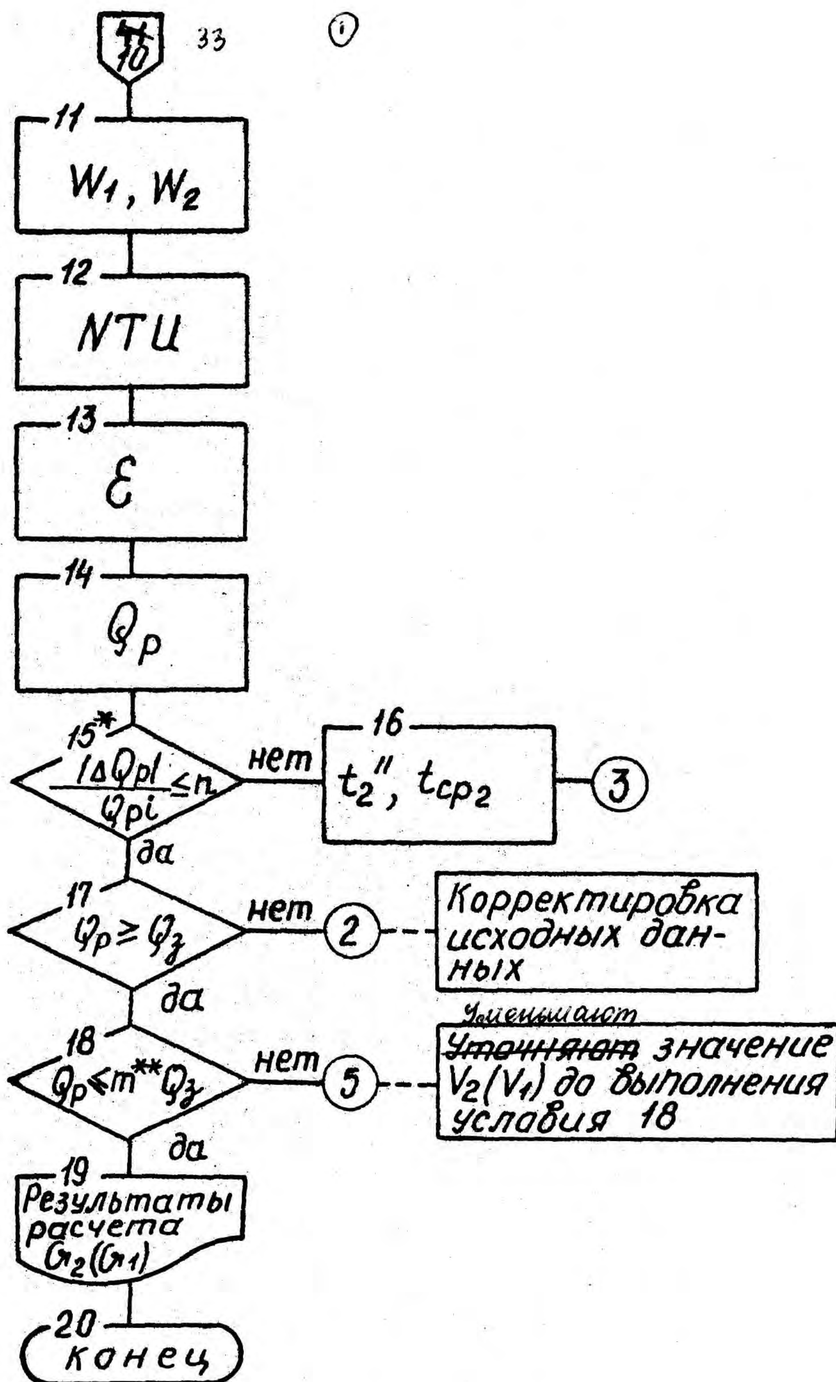
* $|\Delta t_2| = |t'_{2i} - t'_{2i-1}|$; рекомендуемое значение $m = 0{,}05$; $|\Delta t_1| = |t'_{1i} - t'_{1i-1}|$

Черт. 2

Задача 3



Черт. 3

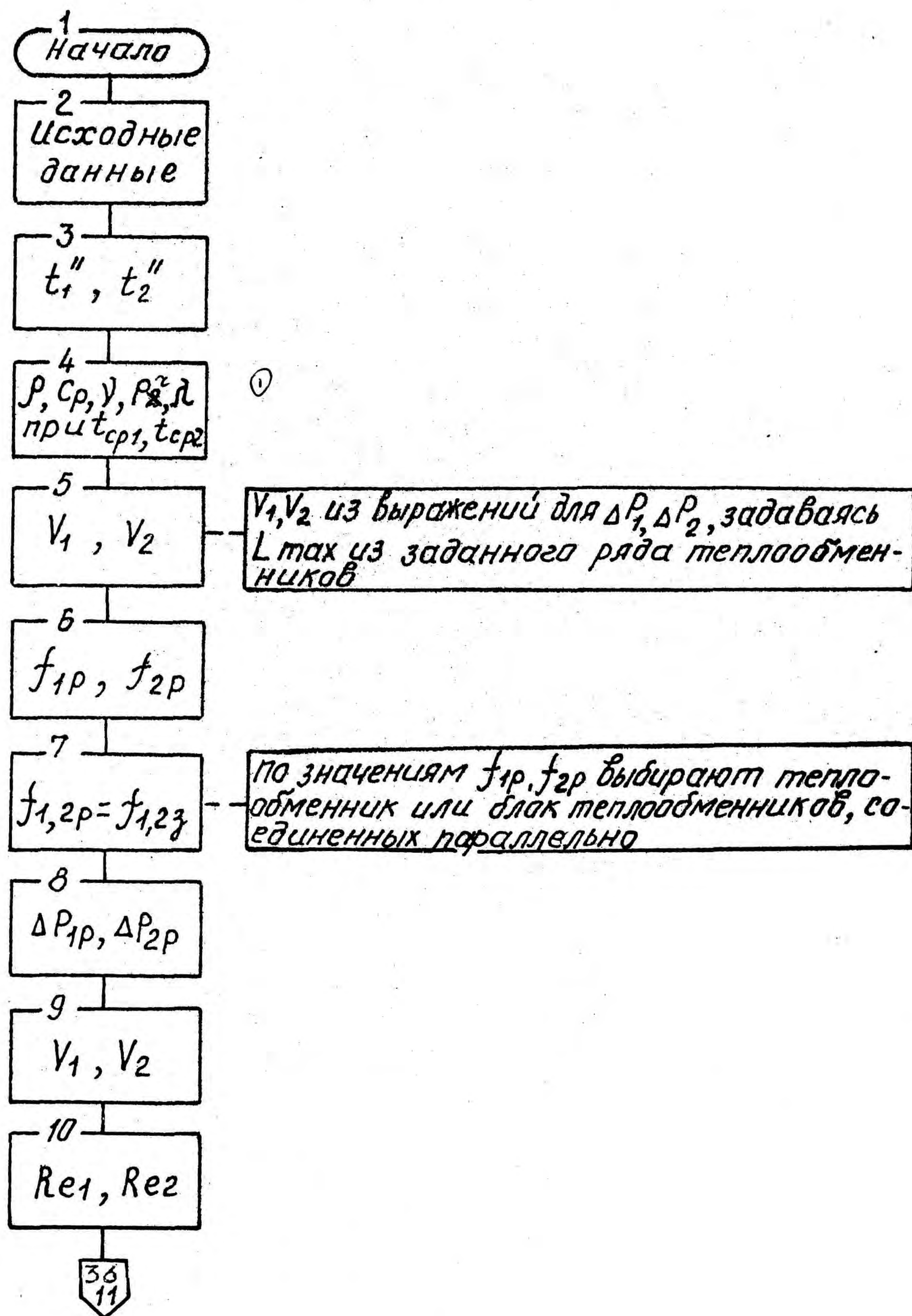


* $|\Delta Q_p| = |Q_{pi} - Q_{pi-1}|$; рекомендуемое значение n=0,05.

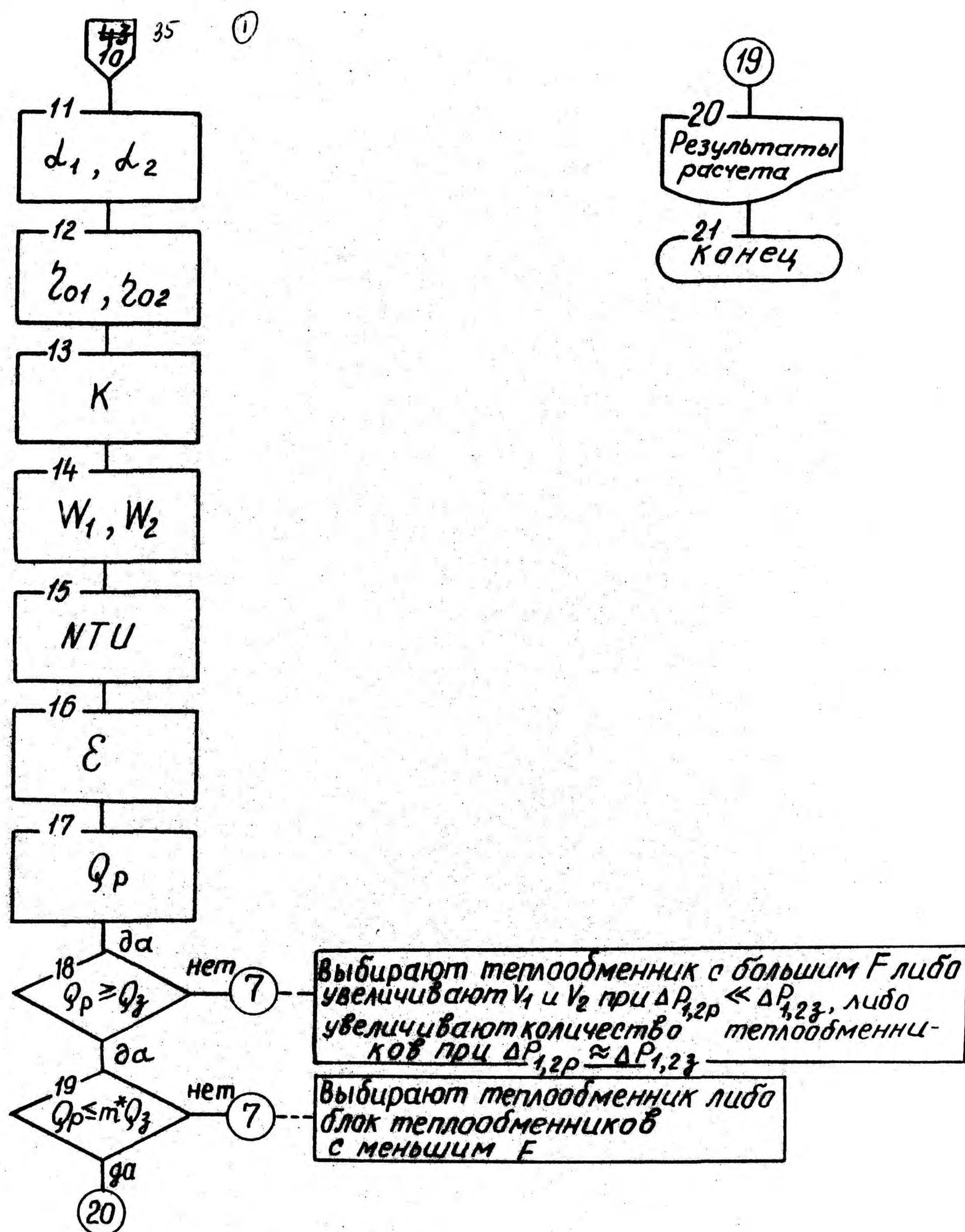
** Рекомендуемое значение m=1,05.

Черт. 3, стр. 34

Задача 4



Черт. 4



* Рекомендуемое значение $m = 1,05$.

Черт. 4, стр. 36

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И ВЫБОРА ТЕПЛООБМЕННИКОВ

4.1. Основные характеристики теплообменников. Общие рекомендации. (1)

4.1.1. В настоящем разделе приведены примеры ускоренного расчета и выбора теплообменников типов ВВ, ЖЖ и ВЖ, изготовленных из алюминиевых сплавов и нержавеющей стали.

4.1.2. В качестве теплопередающих поверхностей использованы поверхности с гладкими и жалюзийными ребрами, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид поверхности	Контактирующая среда	Материал	Геометрические характеристики ячейки размером h x l		
			Свободная площадь сечения, $м^2 \cdot 10^{-6}$	Смоченный периметр, $м \cdot 10^{-3}$	Гидравлический диаметр, $м \cdot 10^{-3}$
l=4,6; h=6,85; 0,15	Воздушная	Алюминиевые сплавы	29,85	40,526	2,946
0,15; h=4,00; l=4,0	Жидкостная	Алюминиевые сплавы	14,29	24,200	2,360
l=3,1; h=3,20; 0,10	Воздушная	Нержавеющая сталь, титановые сплавы	9,17	21,160	1,730
0,1; h=3,0; l=4,0	Жидкостная	Нержавеющая сталь, титановые сплавы	11,02	19,600	2,250

4.1.3. Основные технические характеристики теплообменников приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Обозначение нормативного документа	Условное обозначение теплообменника	Материал	Площадь теплопередающей поверхности, $м^2$	Масса, кг
ОСТ 4Г 0.299.203	ВВ0,9 ВВ3,9 ВВ7,4 ВВ11,8	Алюминиевые сплавы	0,90 3,90 7,40 11,80	2,6 5,7 10,3 13,7
5Ы 0.299.024 ТУ	ЖЖ0,06Н ЖЖ0,24Н ЖЖ0,54Н ЖЖ1,32Н	Нержавеющая сталь	0,06 0,24 0,54 1,32	1,9 2,9 4,5 9,5
ОСТ 4Г 0.299.202	ВЖ0,8 ВЖ1,1 ВЖ2,4 ВЖ4,8 ВЖ7,9	Алюминиевые сплавы	0,80 1,10 2,40 4,80 7,90	2,4 2,8 4,8 7,6 10,5
5Ы 0.299.021 ТУ	ВЖ0,8Н1,2 ВЖ1,1Н1,7 ВЖ2,4Н3,7 ВЖ4,8Н7,8 ВЖ7,9Н12,9	Нержавеющая сталь	1,20 1,70 3,70 7,80 12,90	6,5 7,6 13,4 22,5 30,0

4.1.4. Движение теплоносителей в теплообменниках:

типов ВВ и ВЖ – перекрестное с перемешиванием каждого теплоносителя, двухходовое по жидкому теплоносителю;

типа ЖЖ – противоточное, двухходовое по обоим теплоносителям.

4.1.5. В теплообменниках типа ВВ рекомендуется использовать для охлаждаемого теплоносителя контур с большим сечением для прохода теплоносителя, что позволяет снизить потери напора в теплообменнике (черт. 5 и 6, контур 1).

4.1.6. В теплообменниках типа ЖЖ для уменьшения конденсации влаги на боковых пластинах рекомендуется охлаждаемый теплоноситель направлять в наружный контур 1 (черт. 8).

4.1.7. На черт. 5–39 приведены графики для ускоренного приближенного расчета и выбора теплообменников. Погрешность графиков не превышает ±15%.

Графики построены для $t_{ср}$ = 60 °С и атмосферного давления ~~от 0,082 МПа до 0,106 МПа.~~ $P = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па (1)

~~Расхождение с экспериментальными данными не превышает 10 %.~~

Уточненный расчет теплообменников (в случае необходимости) рекомендуется проводить в соответствии с разделом 3.

4.1.8. При расчете теплообменников с помощью графиков (черт. 5–39) рекомендуемая рость по воздуху должна быть не более 20 м/с.

4.1.9. Расчет значения Q рекомендуется проводить до выполнения условия

$$Q_з < Q_р < 1{,}1 Q_з.$$

4.1.10. При решении задачи 4 рекомендуется начинать выбор теплообменника с большого типоразмера. Компонуя блоки из теплообменников, следует учитывать рекоменда-

Для ориентировочной оценки аэродинамического сопротивления теплообменника при значениях $t_{ср.}$ и P, отличных от указанных, необходимо полученное по номограммам значение ΔP умножить на величину $3{,}29 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P}{273 + t_{ср.}}$.

ции п. 1.1 справочного приложения 2. Для выполнения рекомендаций п. 4.1.9 возможна компоновка блоков из различных типоразмеров теплообменников в соответствии с черт. 1, 3, 9 справочного приложения 2.

4.1.11. Для решения перечисленных в разделе 2 задач разработан программный комплекс "Ветер" 5Ы.00014-01.

Программа позволяет выполнить расчет и выбор теплообменника (блока теплообменников) любого типа и типоразмера с характеристиками, соответствующими табл. 1, 2.

4.2. Пример решения задачи 1

4.2.1. Для решения задачи 1 приняты следующие исходные данные:
теплообменники типоразмеров ВВ3,9 и ВВ7,4 из алюминиевых сплавов;

$G_1 = 0{,}535$ м^3/с, $t'_1 = 80$ °С, $\Delta P_1 = 1300$ Па;

$G_2 = 0{,}458$ м^3/с, $t'_2 = 51$ °С, $\Delta P_2 = 1600$ Па;

теплофизические характеристики воздуха при $t_{ср} = 60$ °С:

$\rho = 1{,}06$ кг/м^3, $C_p = 1005$ Дж/(кг · °С).

Определить Q, t''_1, t''_2.

Расчет проводят с помощью графиков, представленных на черт. 5-7.

4.2.2. Возможны три варианта компоновки теплообменников в блоки:
первый - соединяют последовательно по контуру 1 и параллельно по контуру 2;
второй - соединяют последовательно по контуру 2 и параллельно по контуру 1;
третий - соединяют параллельно по обоим контурам.

В связи с тем что присоединительные размеры теплообменников ВВ3,9 и ВВ7,4 по контуру 1 различны (см. рекомендуемое приложение 1, черт. 1, табл. 1), первый вариант компоновки блока конструктивно не осуществим.

Рассматривают оставшиеся два варианта.

4.2.3. Расходы теплоносителей в теплообменниках при параллельном соединении определяют из условия $\Delta P = idem$ по черт. 5.

4.2.4. Для второго варианта по черт. 5, 6 определяют:

ВВ3,9 $G_1 = 0{,}180$ м^3/с, $V_1 = 13{,}9$ м/с, $\Delta P_1 = 1060$ Па;
$G_2 = 0{,}458$ м^3/с, $V_2 > 20$ м/с, $\Delta P_2 > 2000$ Па $\gg \Delta P_з$;

ВВ7,4 $G_1 = 0{,}355$ м^3/с, $V_1 = 13{,}9$ м/с, $\Delta P_1 = 1060$ Па;
$G_2 = 0{,}458$ м^3/с, $V_2 > 20$ м/с, $\Delta P_2 > 2400$ Па $\gg \Delta P_з$.

Скорость по холодному теплоносителю значительно превышает 20 м/с (что противоречит рекомендациям п. 4.1.8) и суммарное значение $\Delta P_2 \gg \Delta P_з$. Вариант отбрасывают.

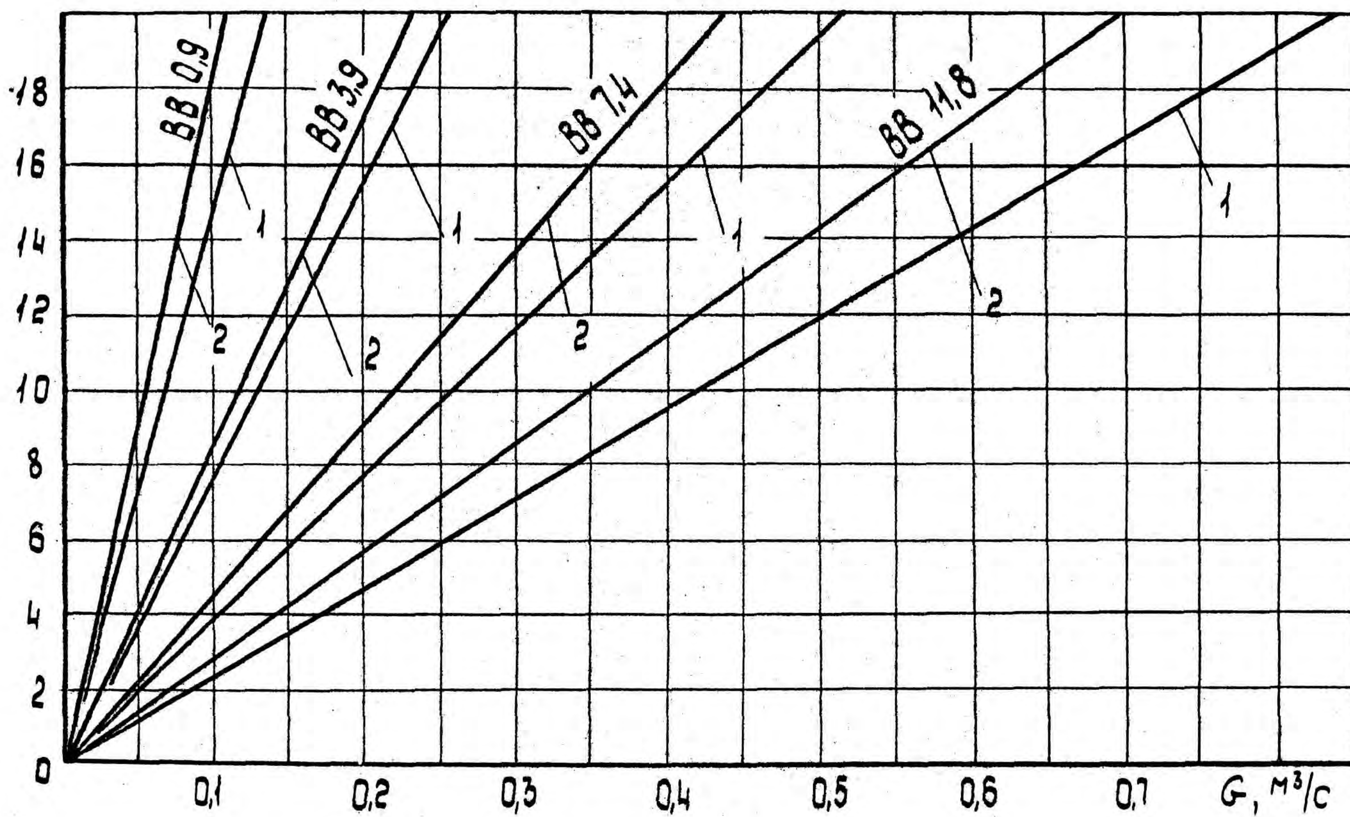
4.2.5. Для третьего варианта по черт. 5, 6 определяют:

ВВ3,9 $G_1 = 0{,}180$ м^3/с, $V_1 = 13{,}9$ м/с, $\Delta P_1 = 1060$ Па;
$G_2 = 0{,}158$ м^3/с, $V_2 = 13{,}6$ м/с, $\Delta P_2 = 1280$ Па;

ВВ7,4 $G_1 = 0{,}355$ м^3/с, $V_1 = 13{,}9$ м/с, $\Delta P_1 = 1060$ Па;
$G_2 = 0{,}300$ м^3/с, $V_2 = 13{,}6$ м/с, $\Delta P_2 = 1280$ Па.

Полученные значения ΔP не превышают заданные.

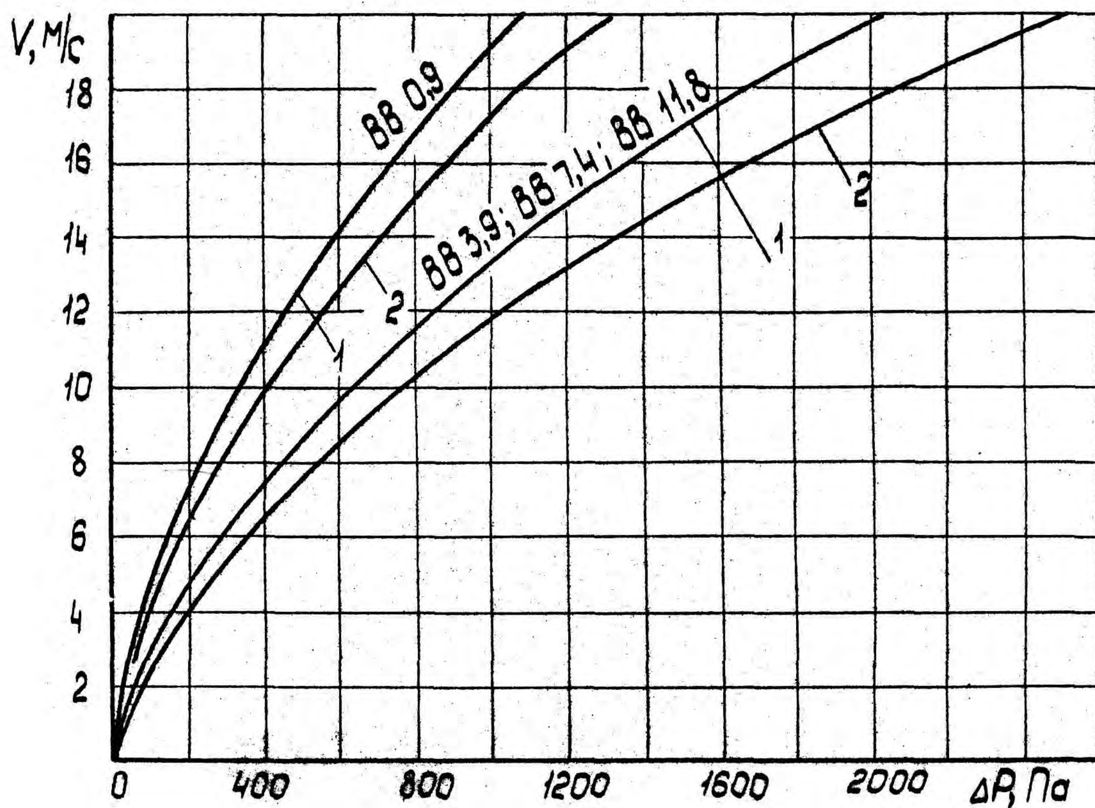
Зависимость $V = f(G)$ для теплообменников типа ВВ



1 – контур 1; 2 – контур 2

Черт. 5

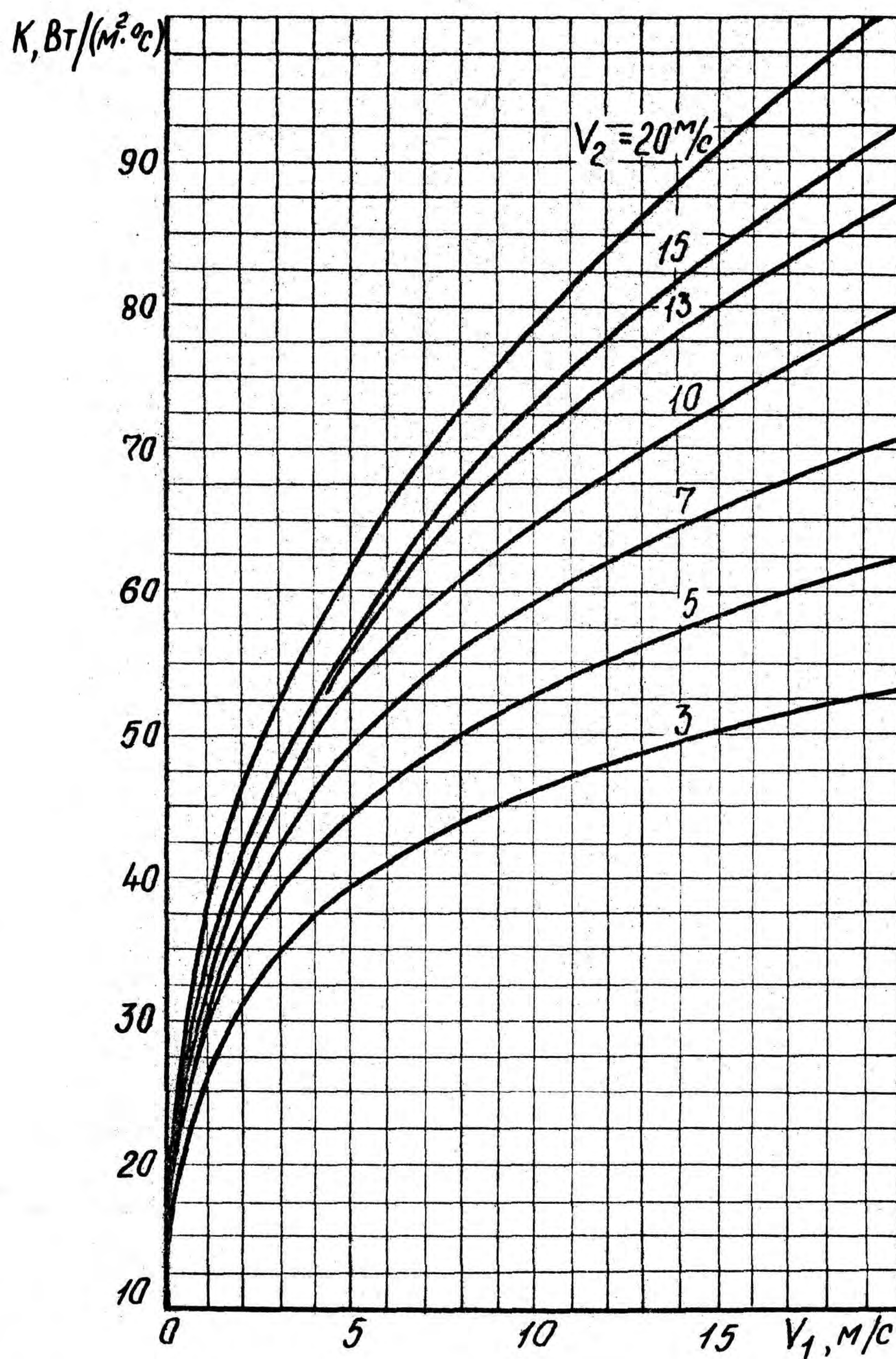
Зависимость $\Delta P = f(V)$ для теплообменников типа ВВ



1 – контур 1; 2 – контур 2

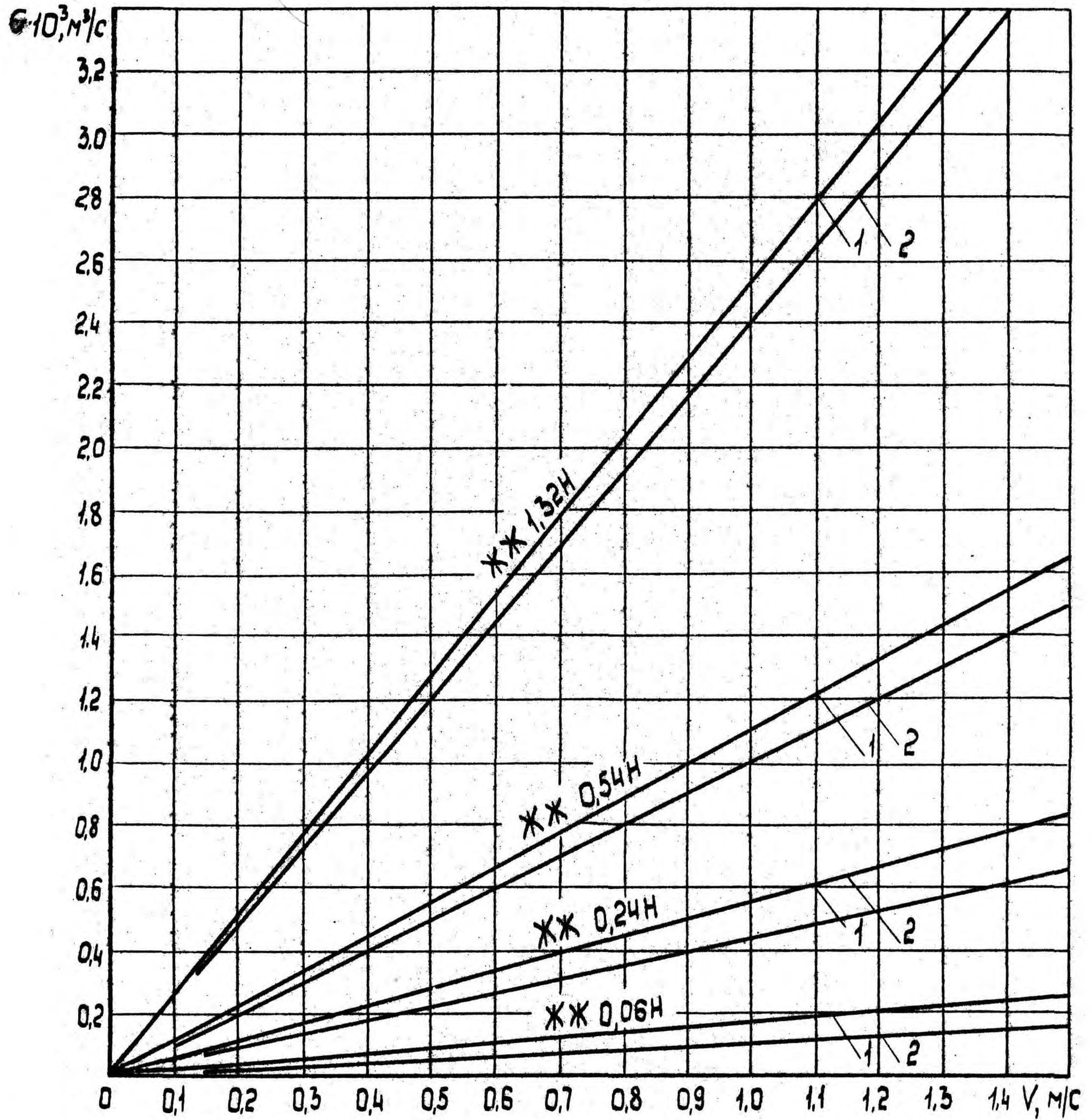
Черт. 6

Зависимость $K = f(V_1, V_2)$ для теплообменников типа ВВ



Черт. 7

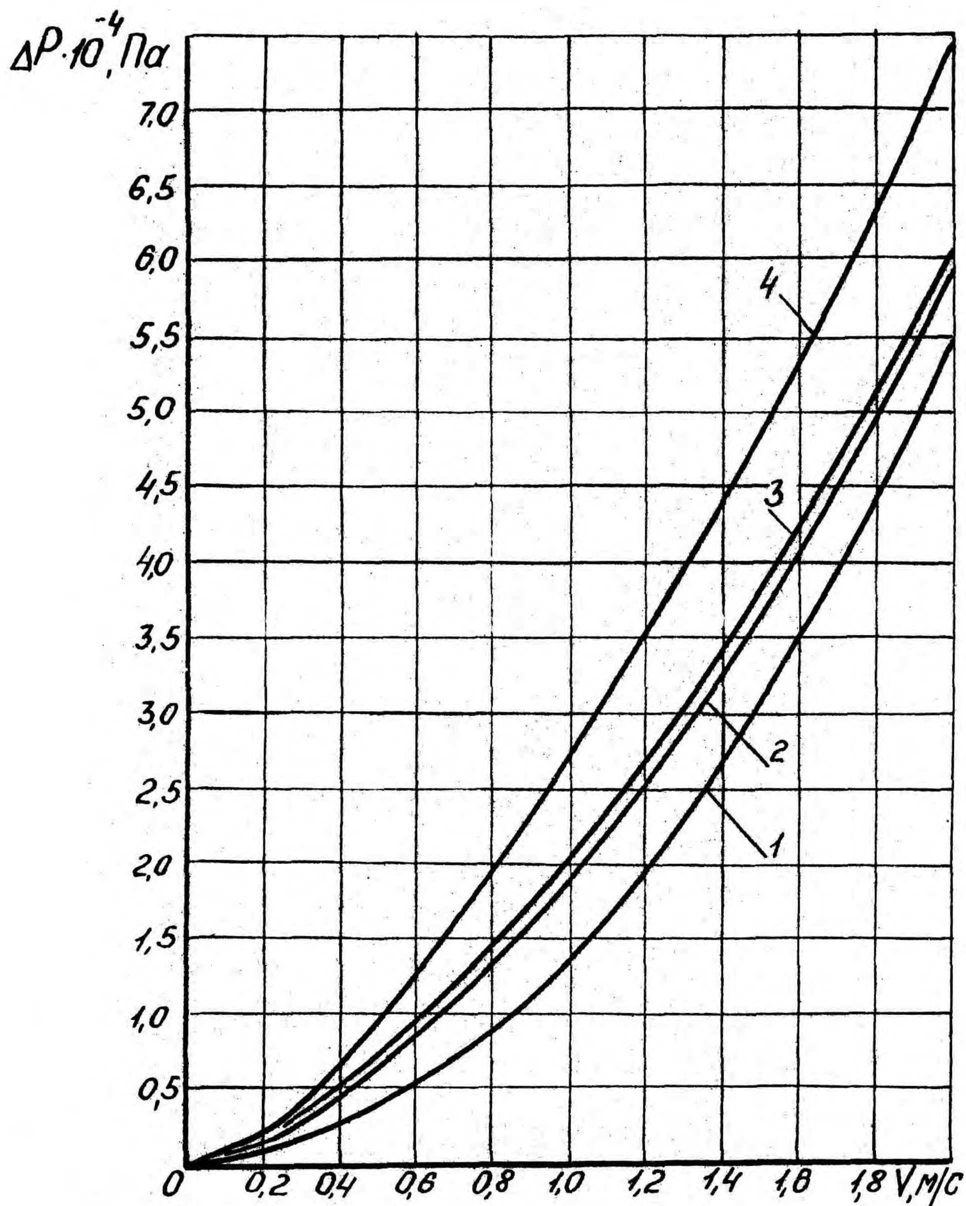
Зависимость **V = f (G)** для теплообменников типа ЖЖ



1 – контур 1; 2 – контур 2

Черт. 8

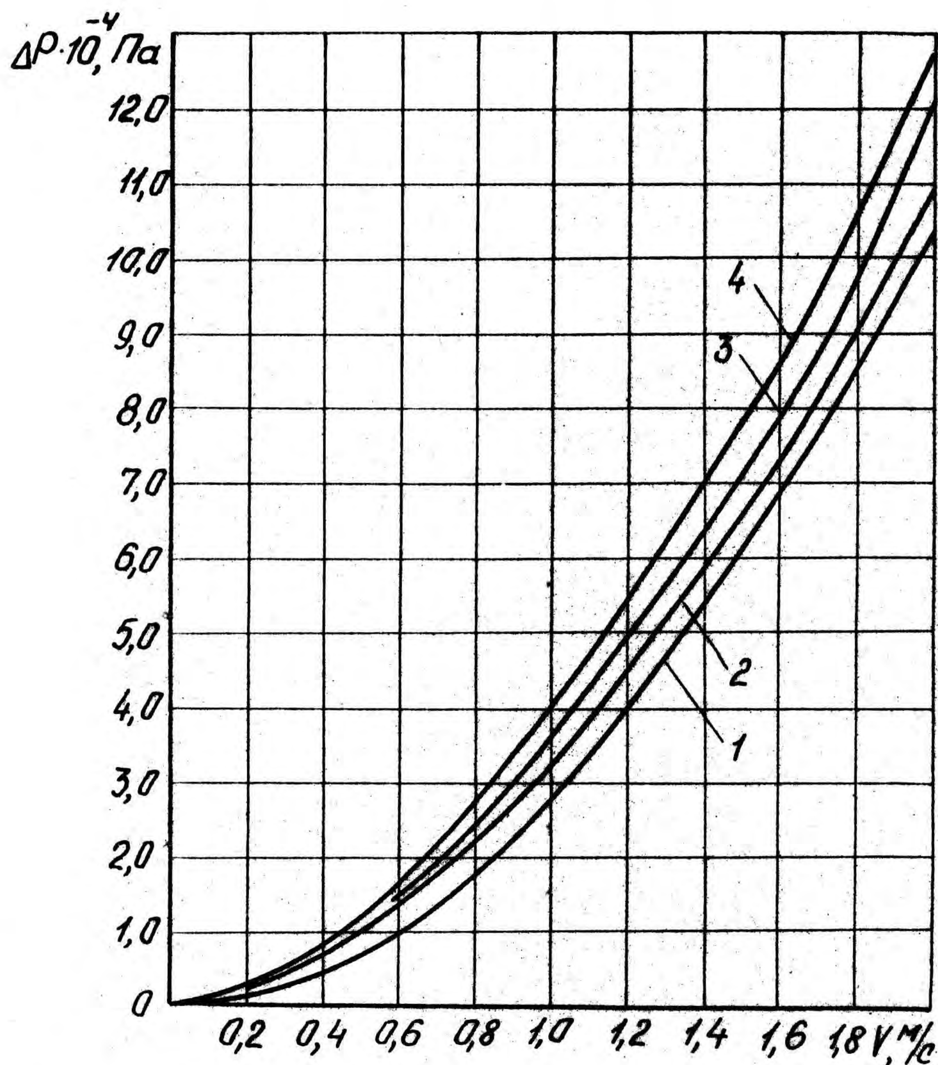
Зависимость $\Delta P = f(V)$ для теплообменника типоразмера ЖЖО,06



1 – вода дистиллированная; 2 – ПМС-5; 3 – антифриз 65; 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой; 4 – ПМС-10, масло трансформаторное

Черт. 9

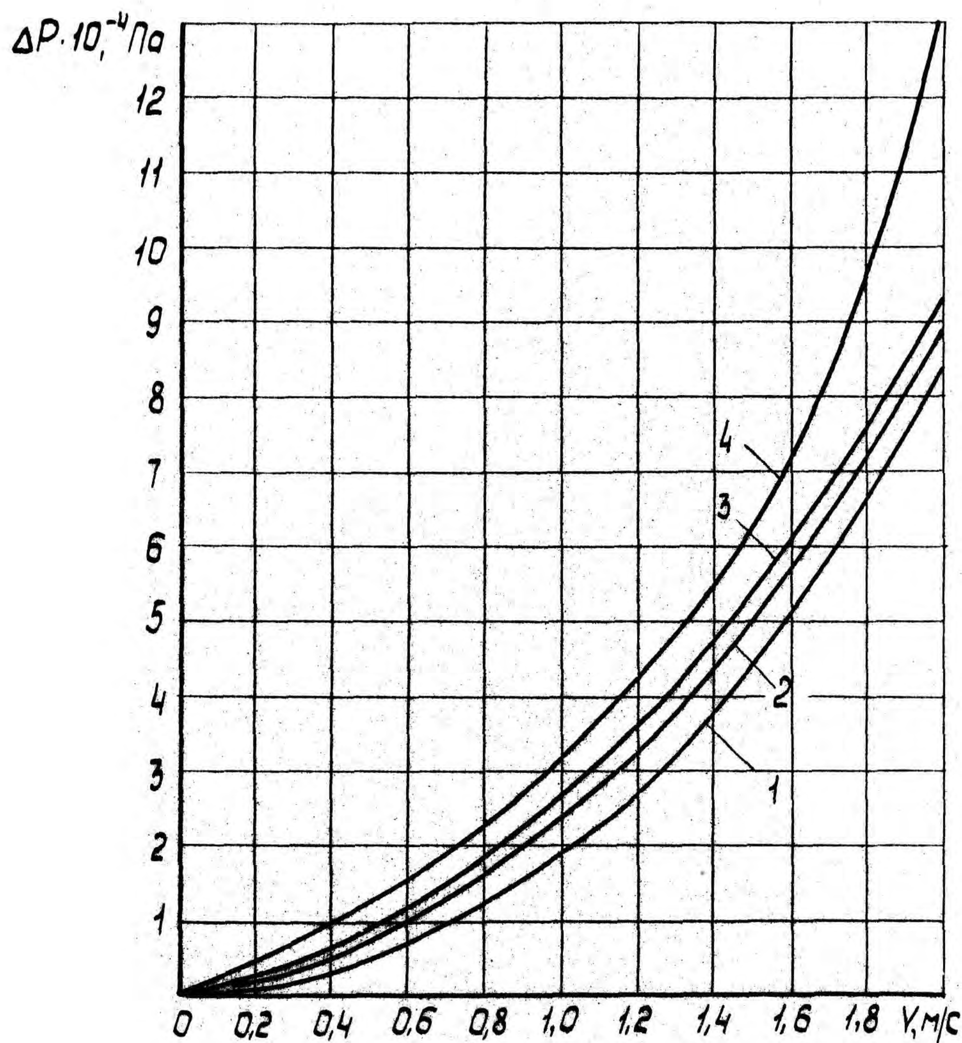
Зависимость $\Delta P = f(V)$ для теплообменника типоразмера ЖЖО,24



1 – вода дистиллированная; 2 – ПМС-5; 3 – антифриз 65; 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой; 4 – ПМС-10, масло трансформаторное

Черт. 10

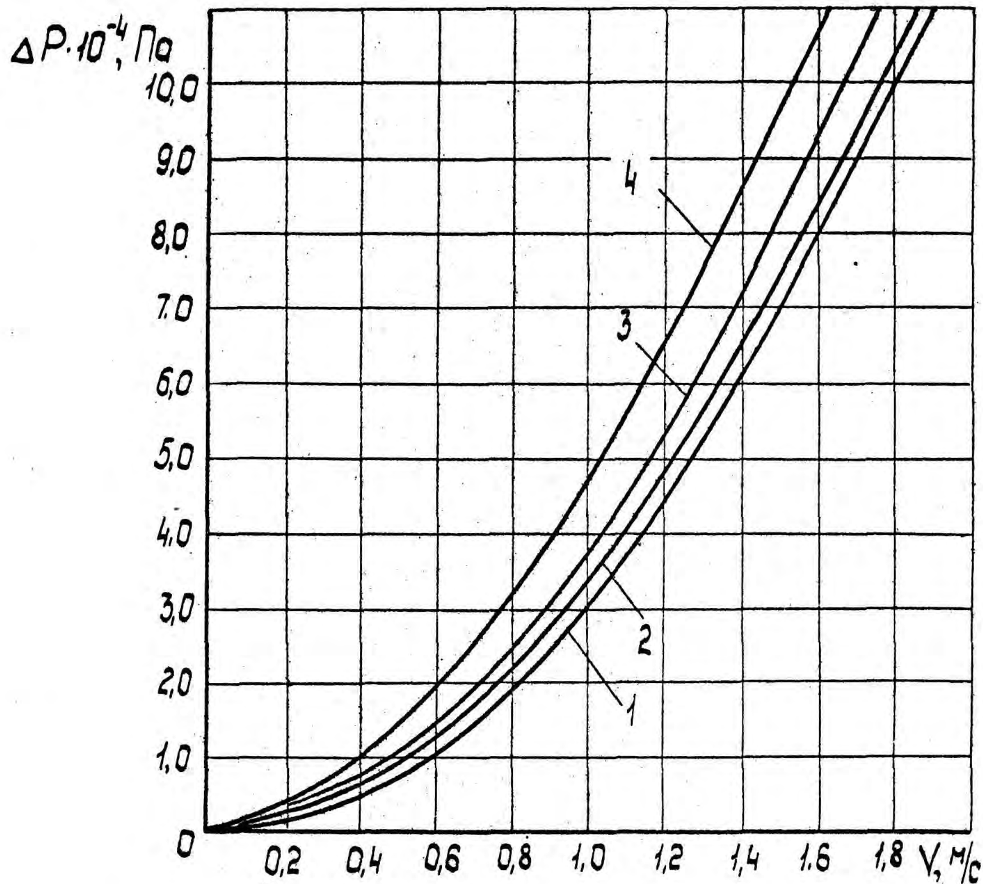
Зависимость $\Delta P = f(V)$ для теплообменника типоразмера ЖЖ0,54



1 – вода дистиллированная; 2 – ПМС-5; 3 – антифриз 65; 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой; 4 – ПМС-10, масло трансформаторное

Черт. 11

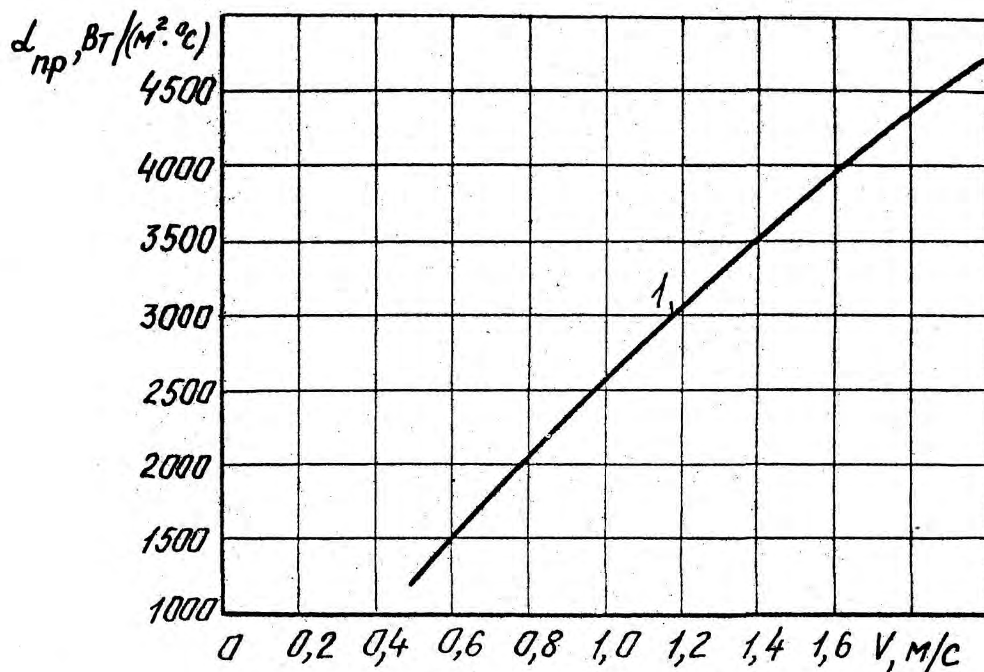
Зависимость $\Delta P = f(V)$ для теплообменника типоразмера ЖЖ1,32

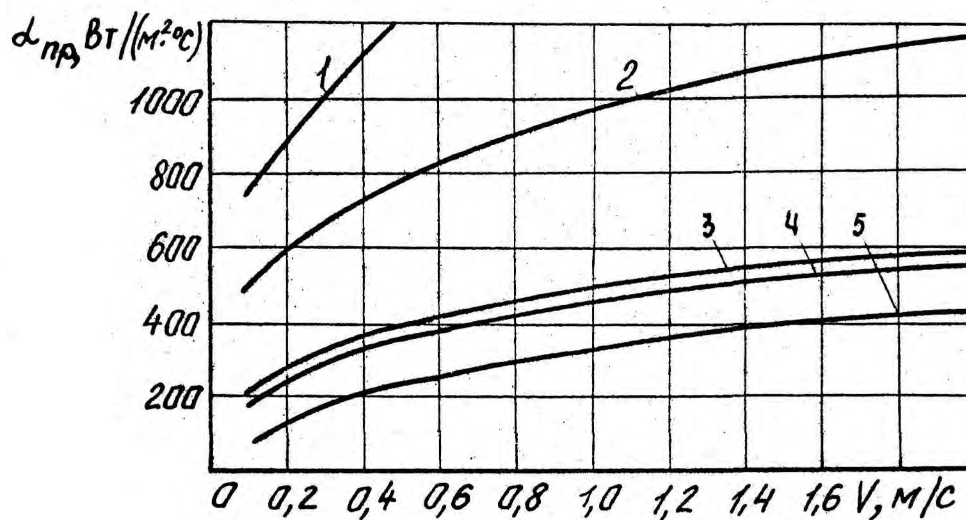


1 – вода дистиллированная; 2 – ПМС-5; 3 – антифриз 65; 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой; 4 – ПМС-10, масло трансформаторное

Черт. 12

Зависимость $\alpha_{пр} = f(V)$ для теплообменников типа ЖЖ

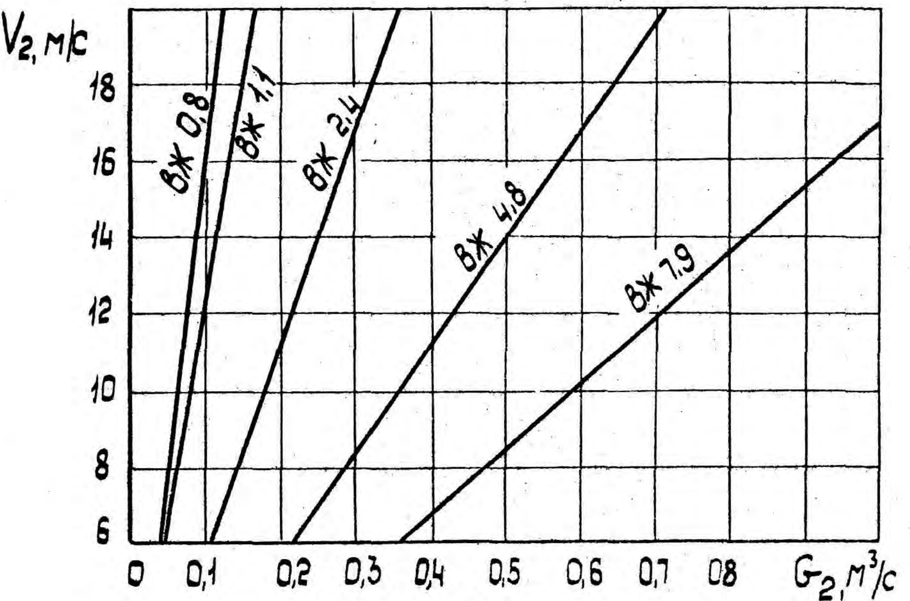


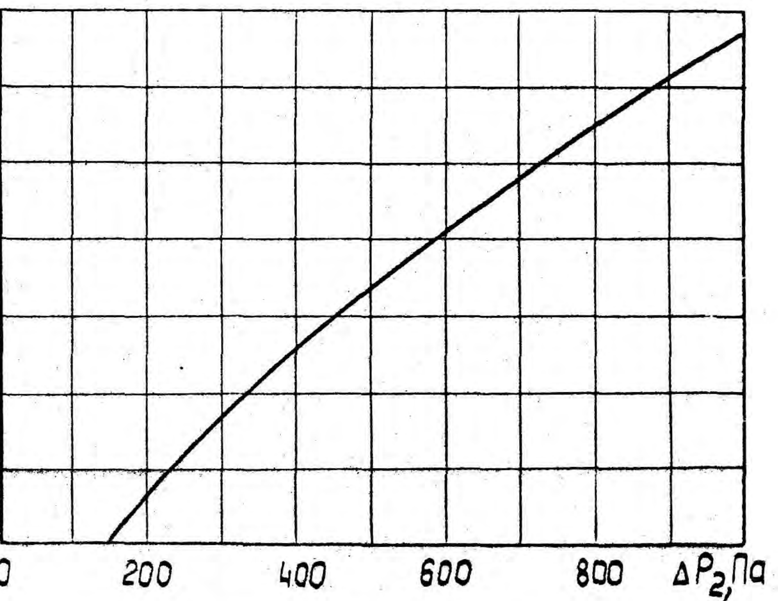


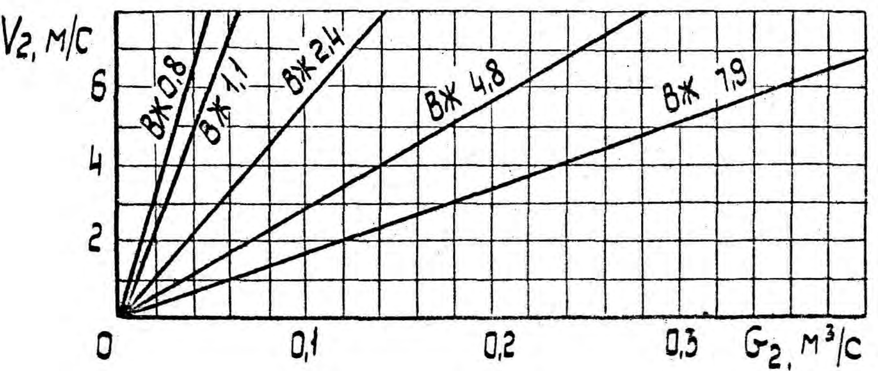
1 – вода дистиллированная; 2 – антифриз 65; 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой; 3 – ПМС-10; 4 – ПМС-5; 5 – масло трансформаторное

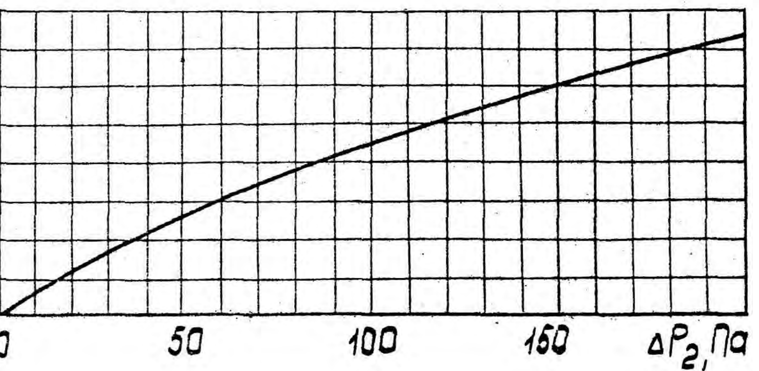
Черт. 13

Зависимости $V_2 = f(G_2)$ и $\Delta P_2 = f(V_2)$ для теплообменников типа ВЖ (воздух)



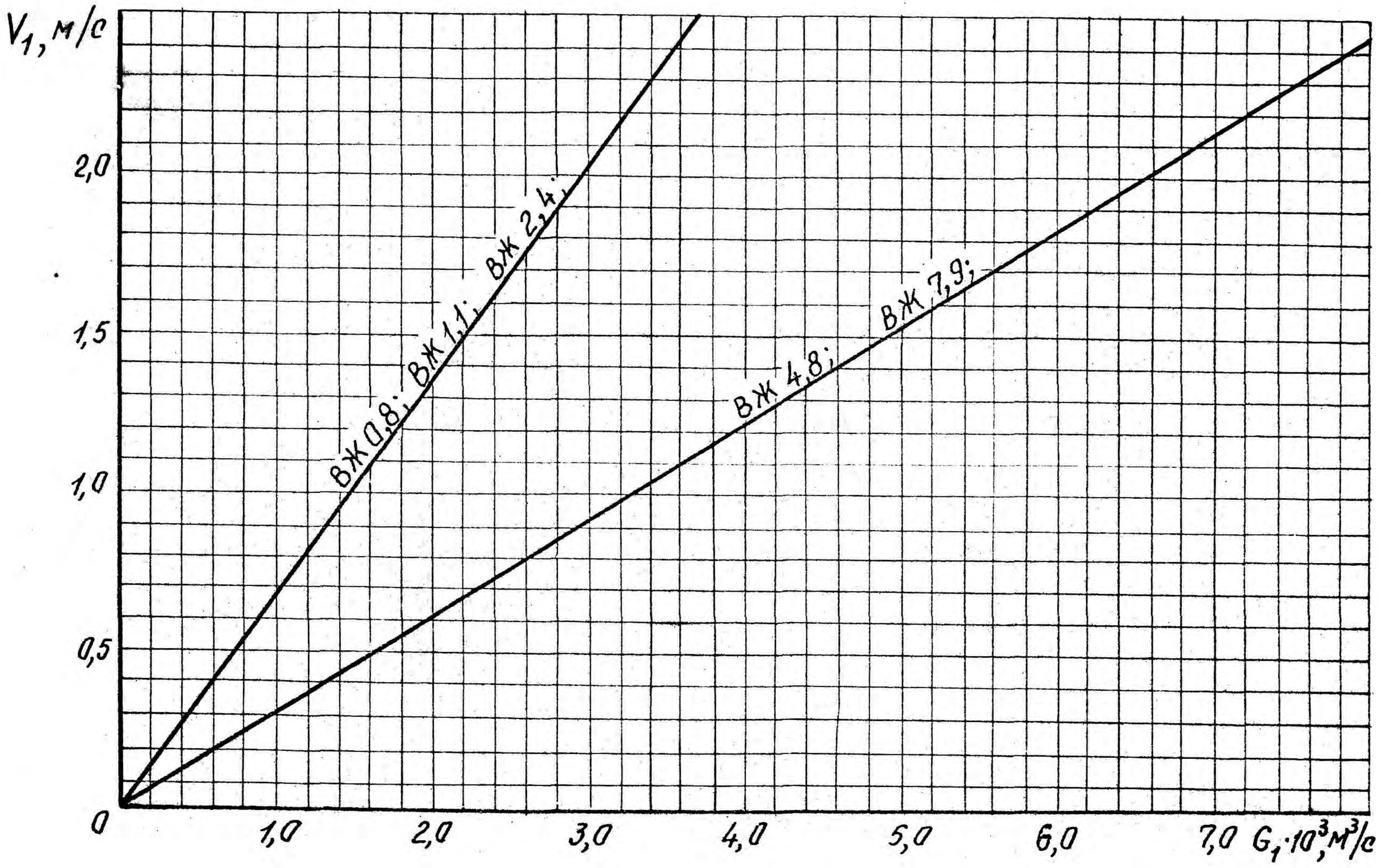






Черт. 14

Зависимость $V_1 = f(G)$ для теплообменников типа ВЖ (жидкость)

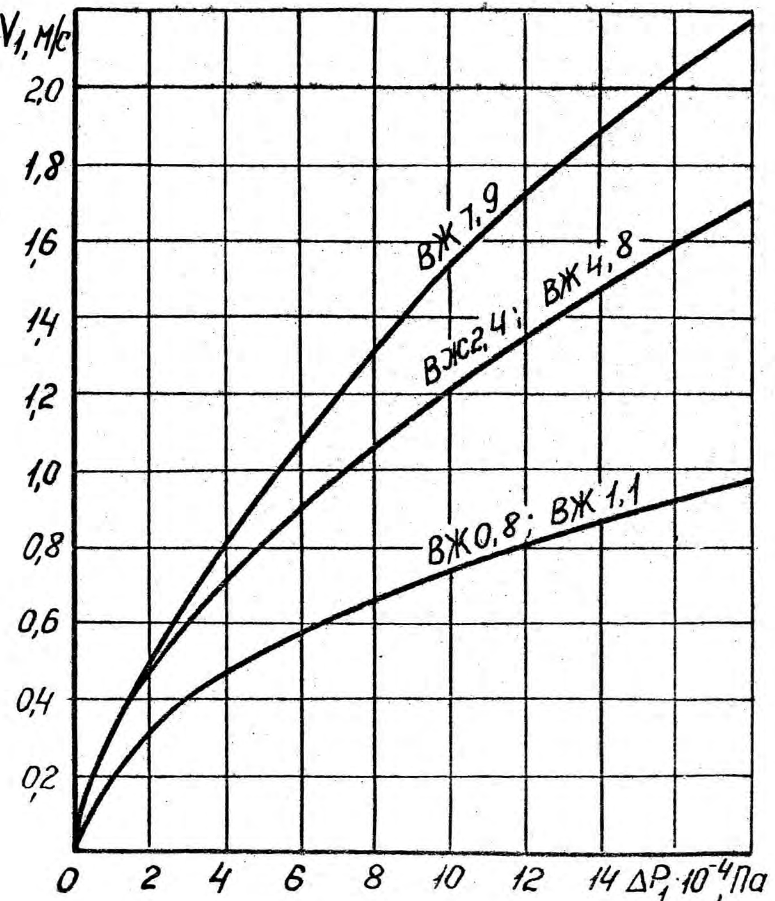


Черт. 15

Зависимости для теплообменников типа ВЖ.

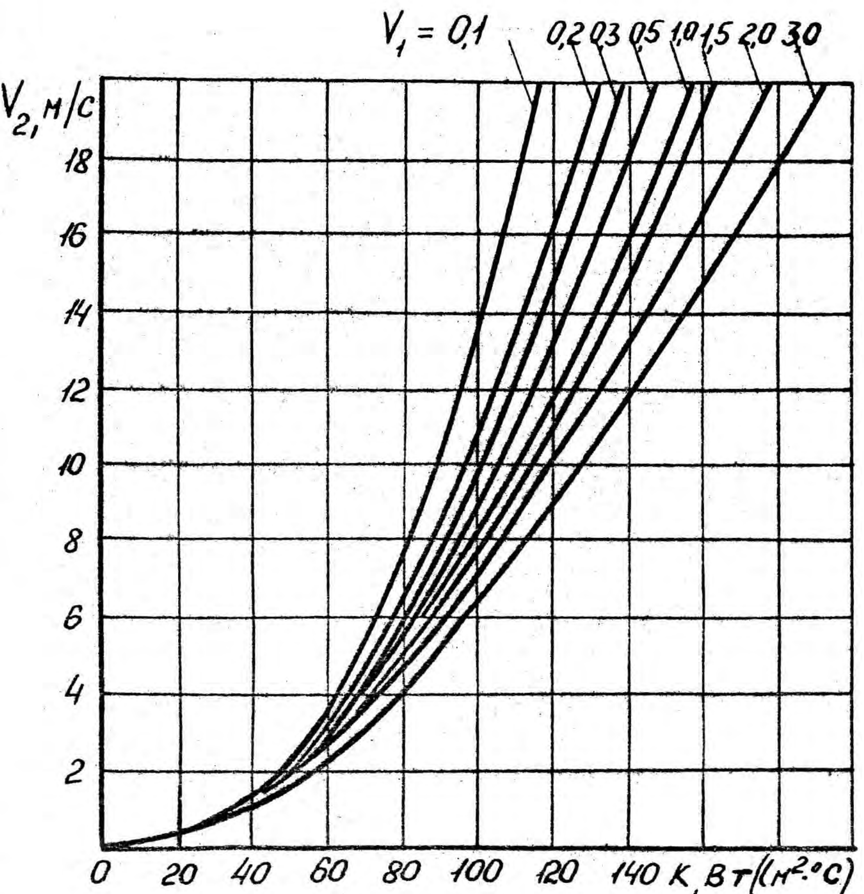
Теплоносители–антифриз 65 и 66–процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 16

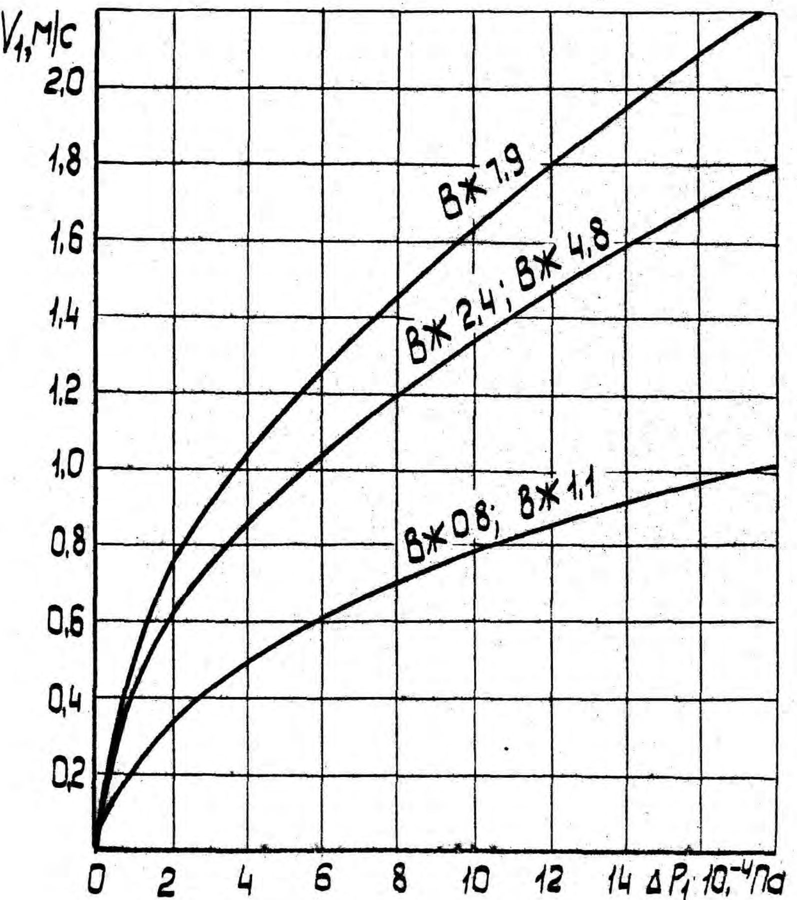
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 17

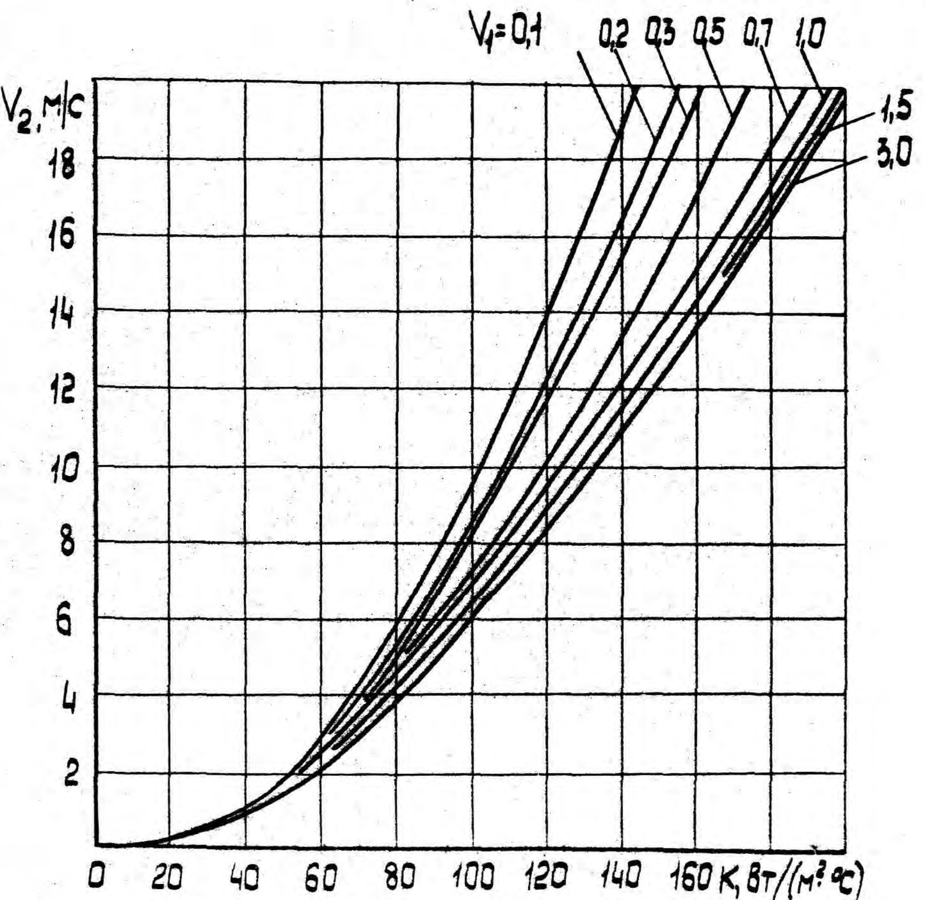
Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель – дистиллированная вода

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 18

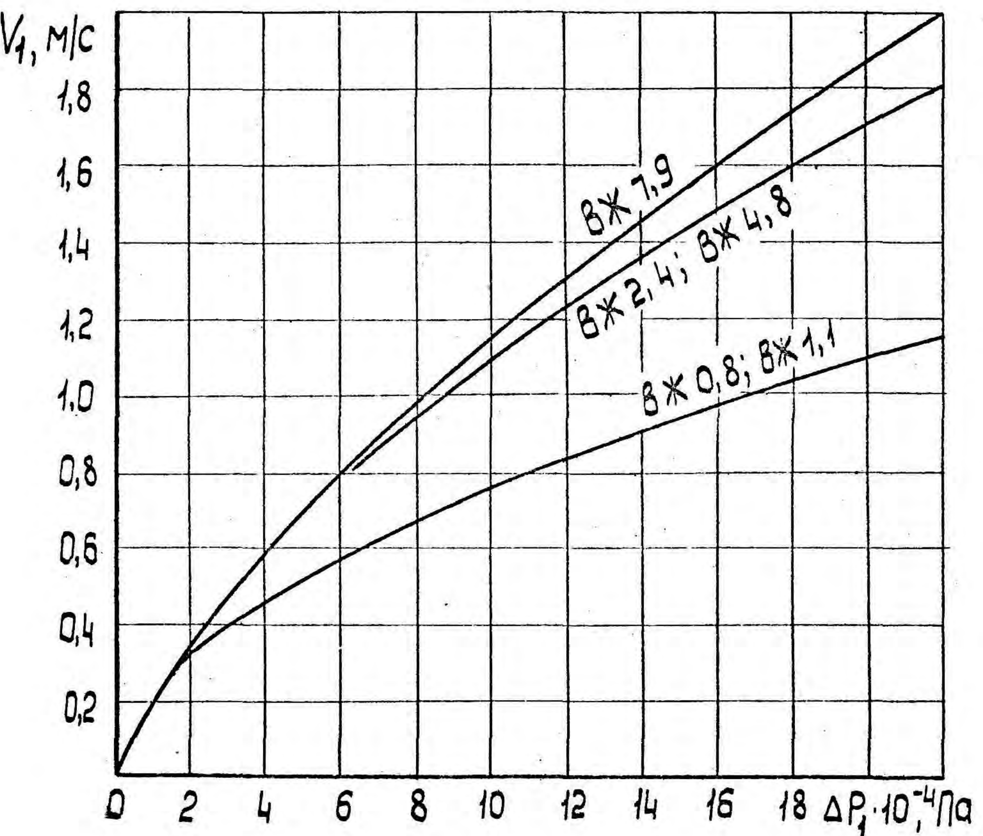
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 19

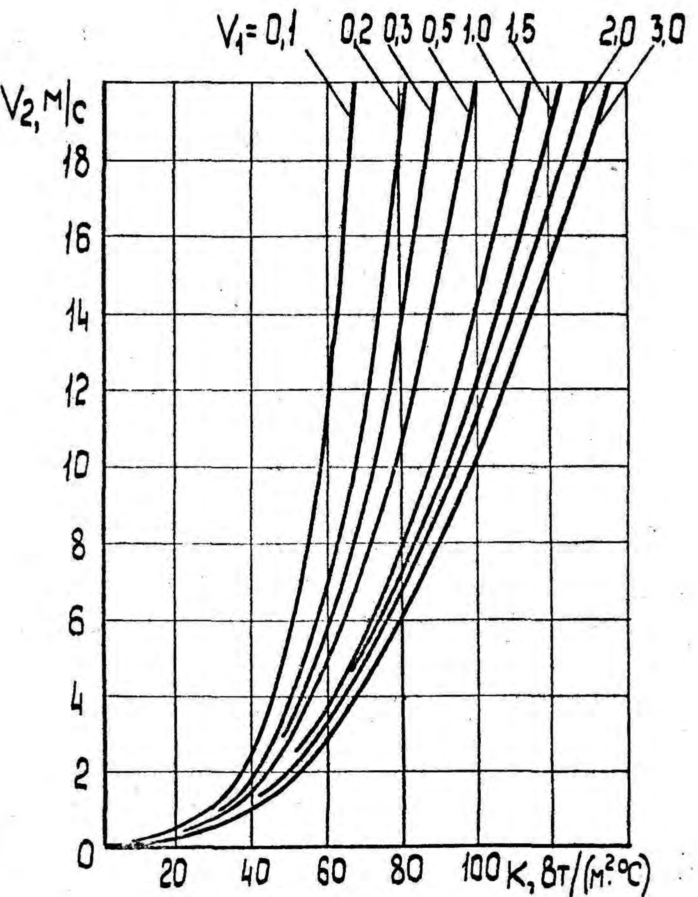
Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель - ПМС-10

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 20

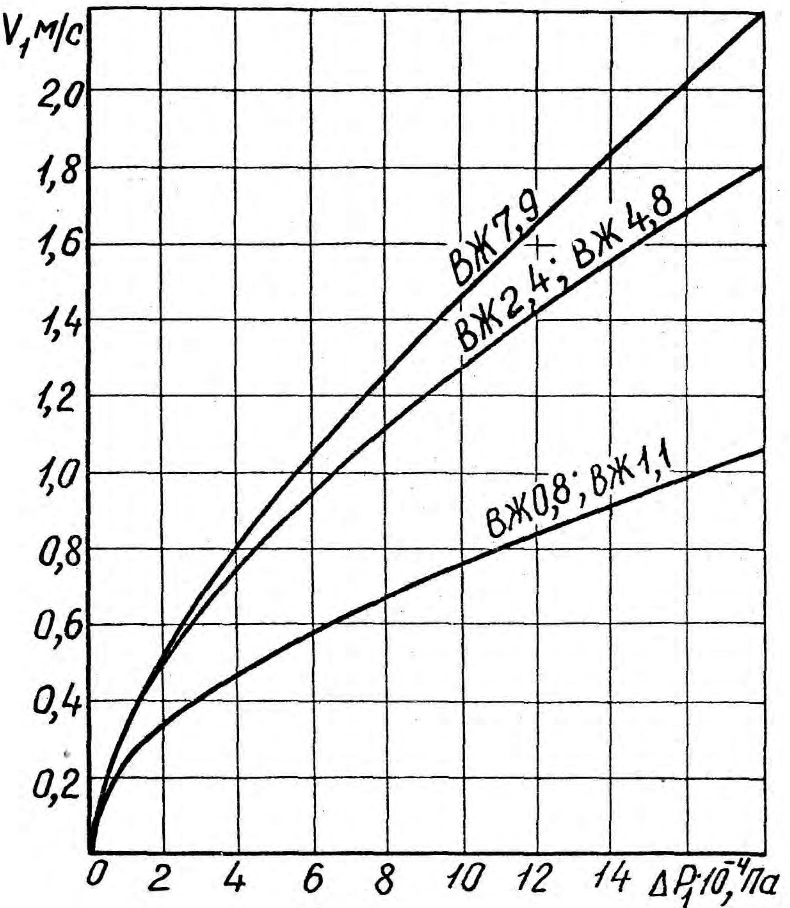
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 21

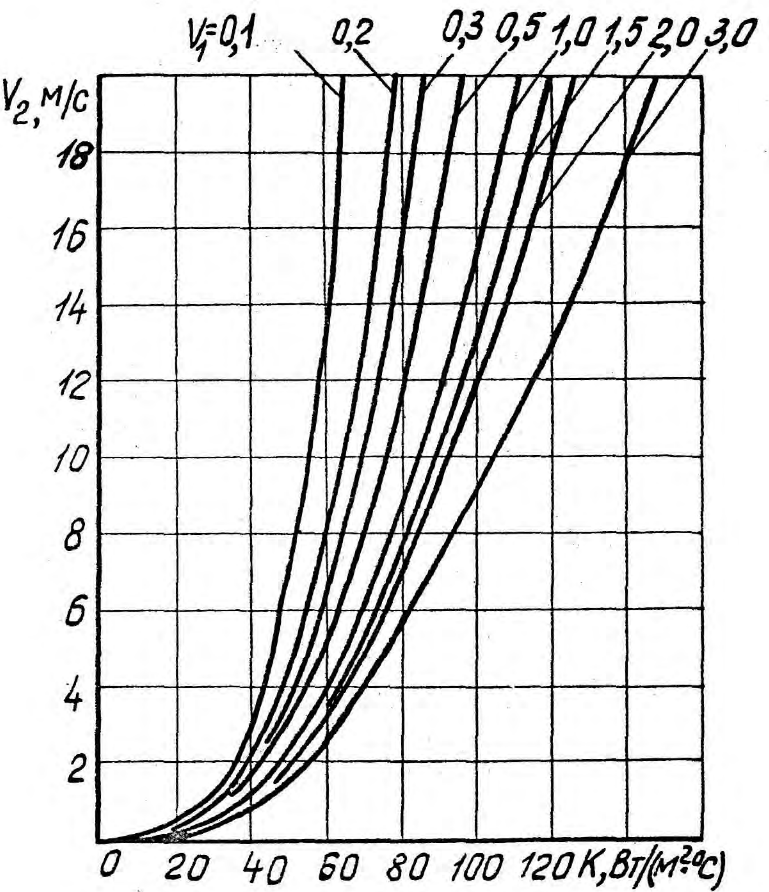
Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель – ПСМ-5

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 22

Зависимость $K = f(V_1, V_2)$

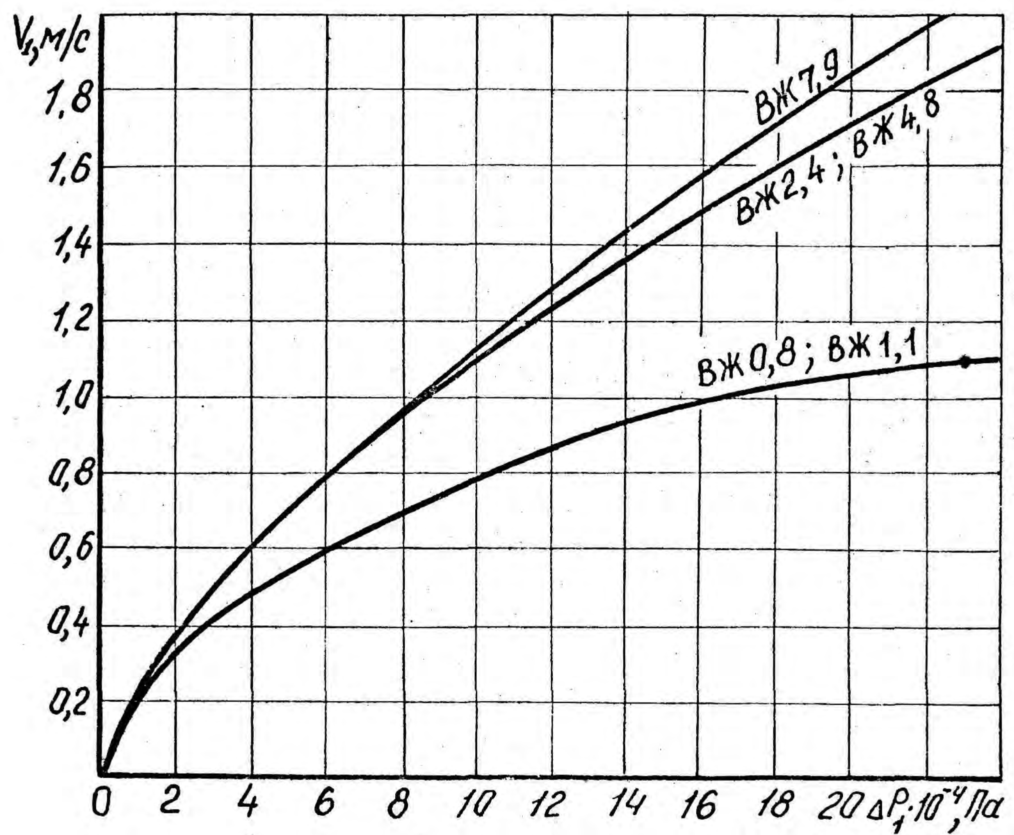


Черт. 23

Зависимости для теплообменников типа ВЖ.

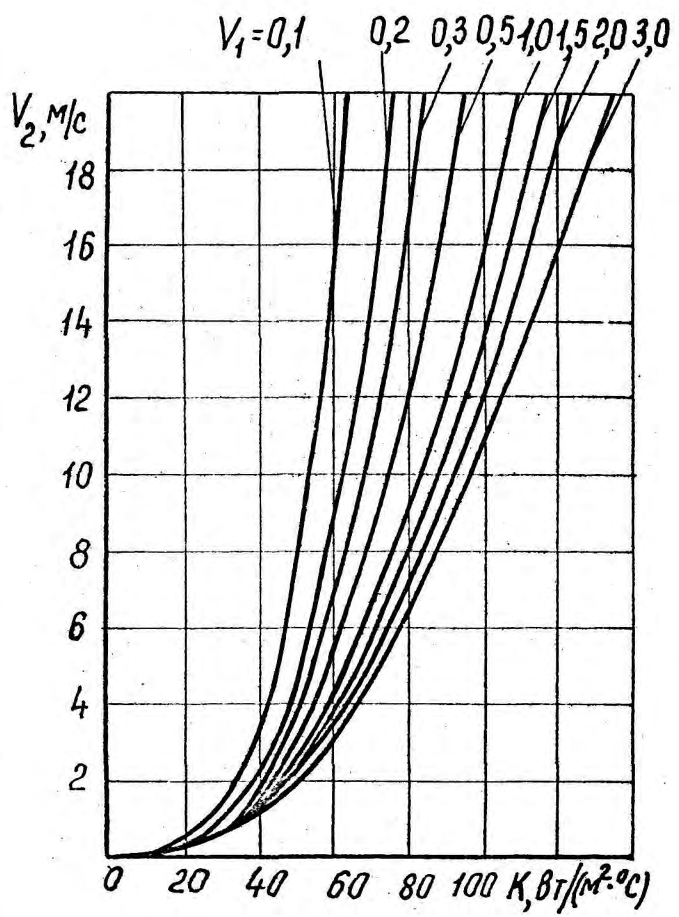
Теплоноситель - трансформаторное масло

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 24

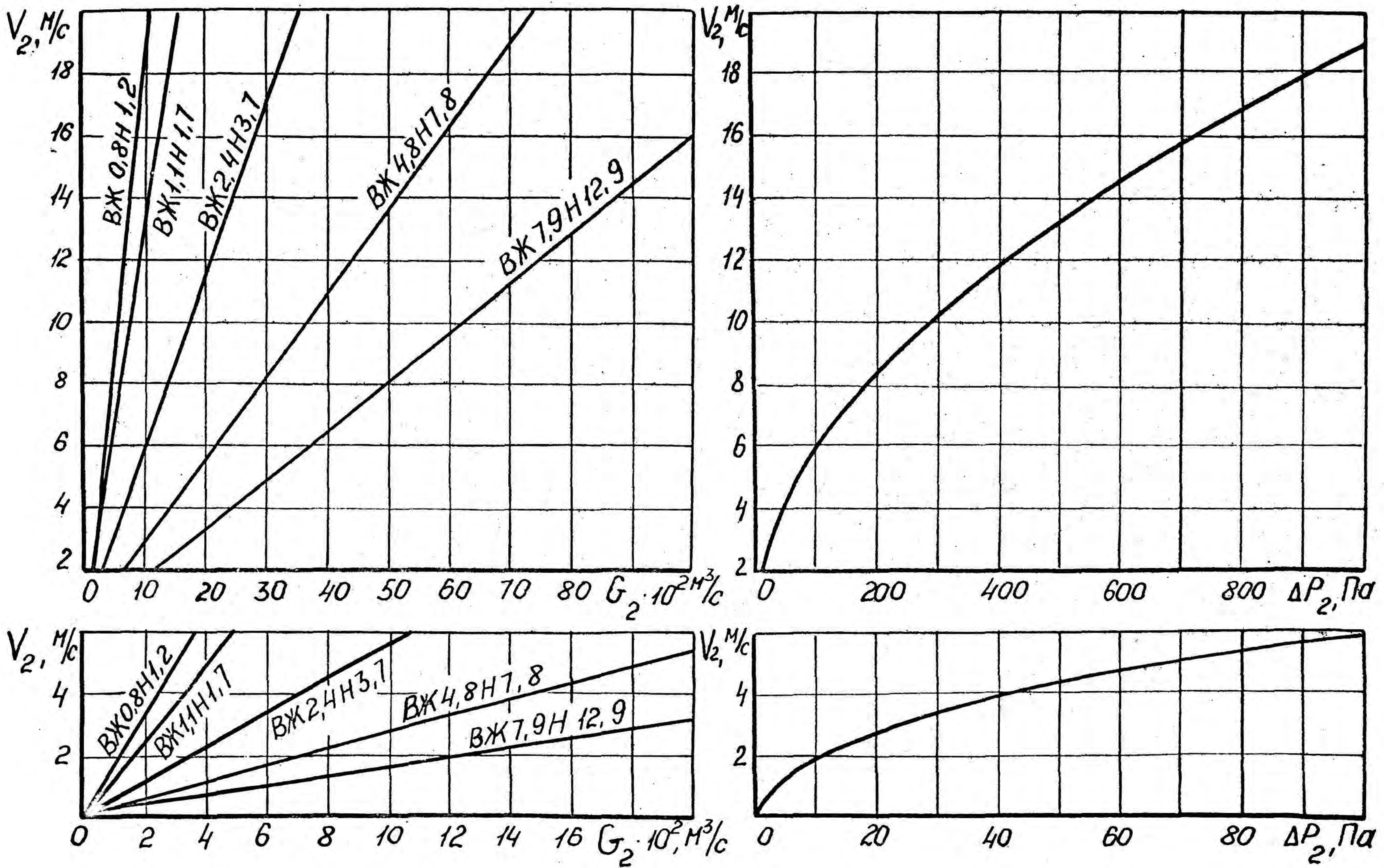
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 25

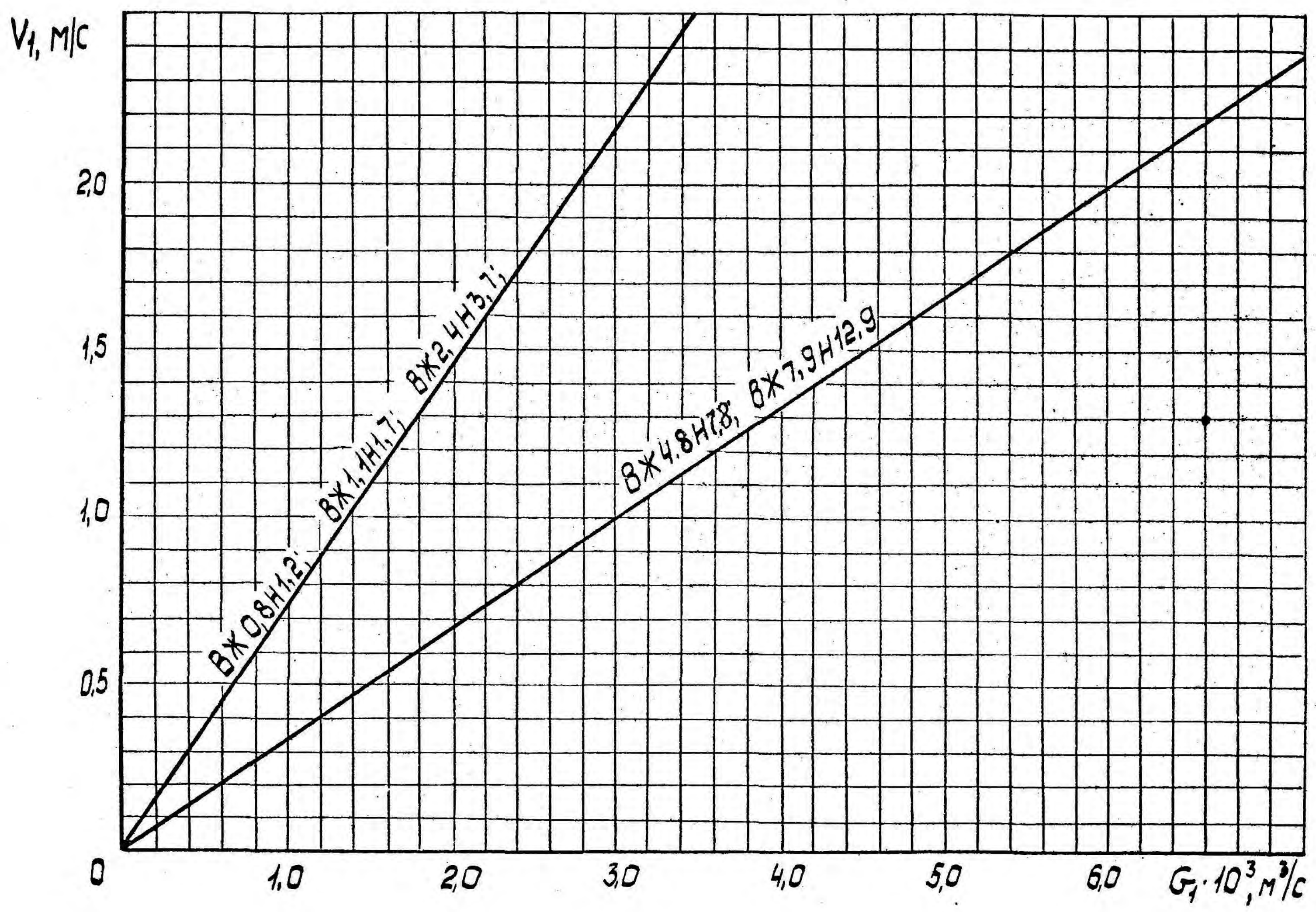
Зависимости $V_2 = f(G_2)$ и $\Delta P_2 = f(V_2)$

для теплообменников типа ВЖ (воздух)



Черт. 26

Зависимость $V_1 = f(G_1)$ для теплообменников типа ВЖ (жидкость)

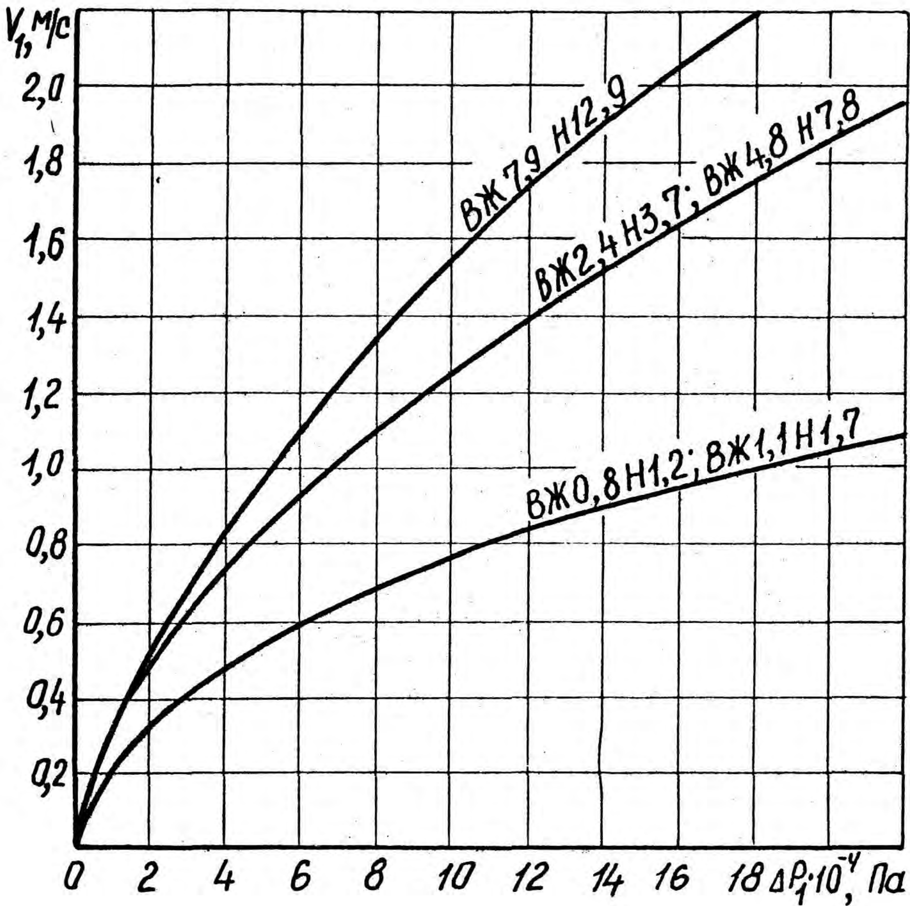


Черт. 27

Зависимости для теплообменников типа ВЖ.

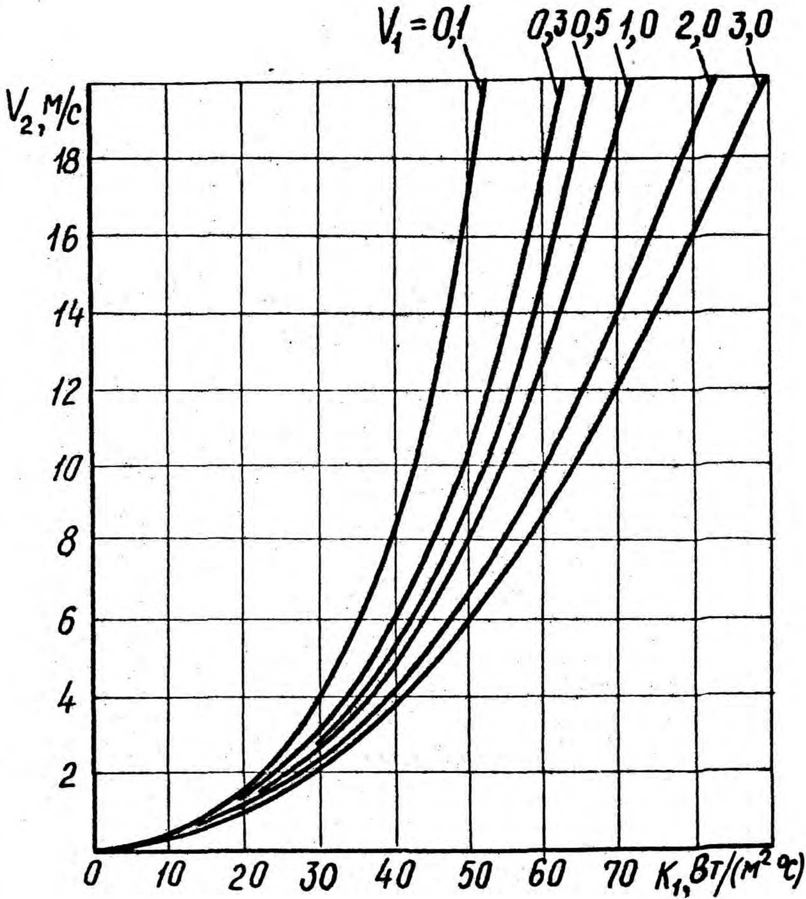
Теплоносители – антифриз 65 и 66-процентная смесь этиленгликоля с дистиллированной водой

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 28

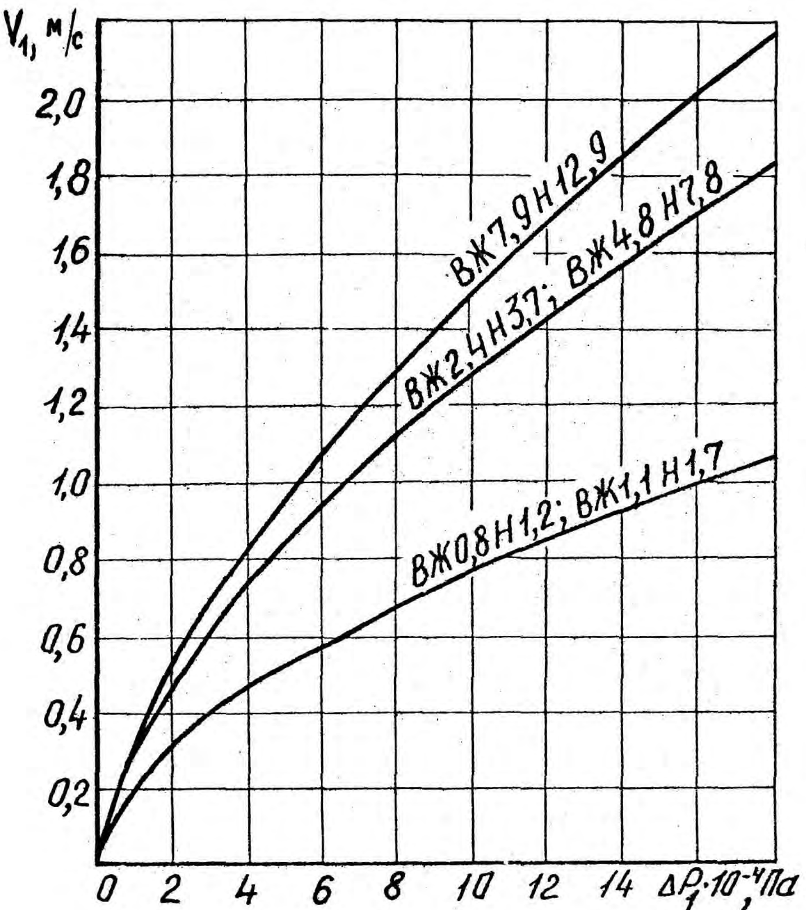
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 29

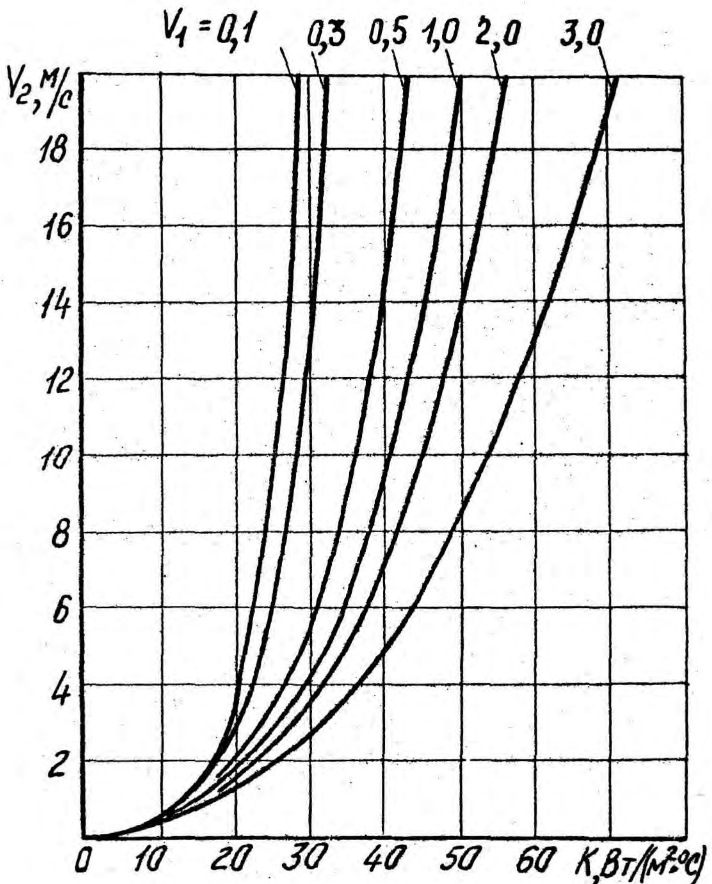
Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель – ПМС-5

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 30

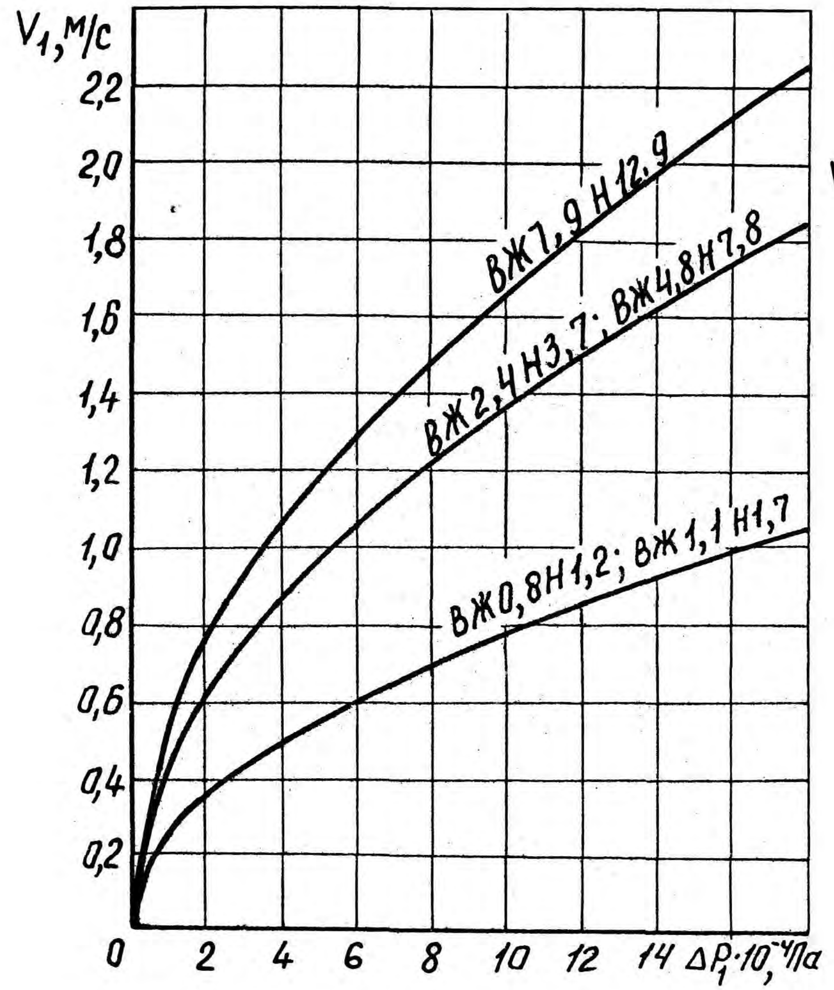
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 31

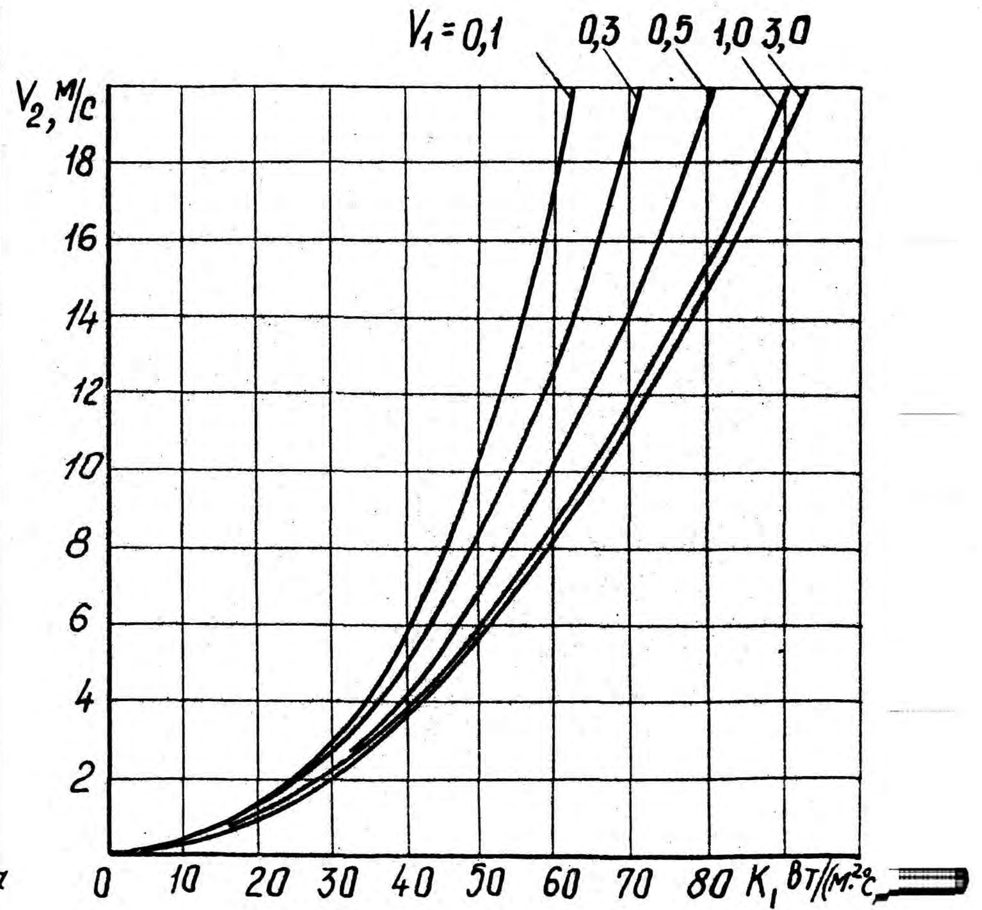
Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель – дистиллированная вода

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$



Черт. 32

Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



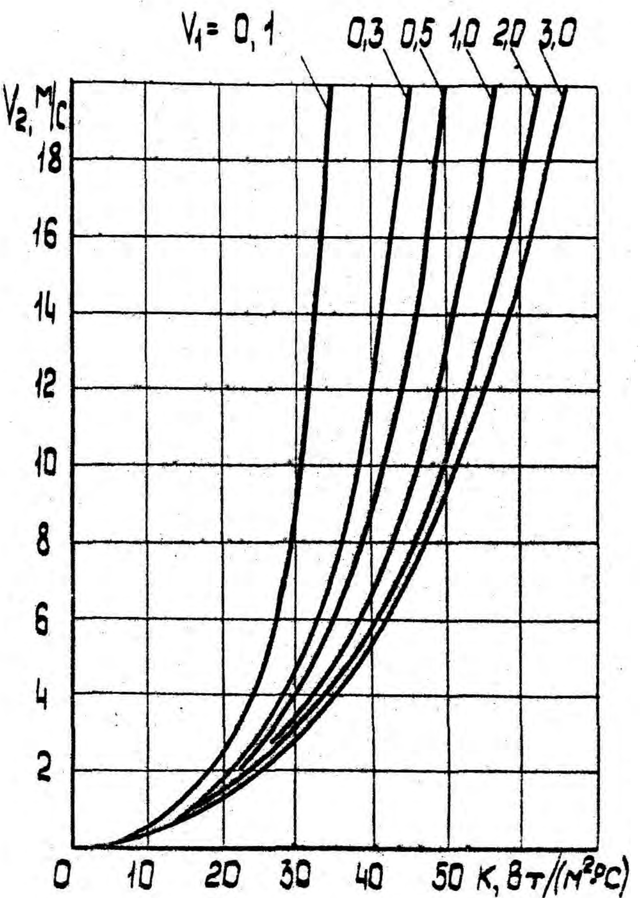
Черт. 33

Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель - ПМС-10

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$

Черт. 34

Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



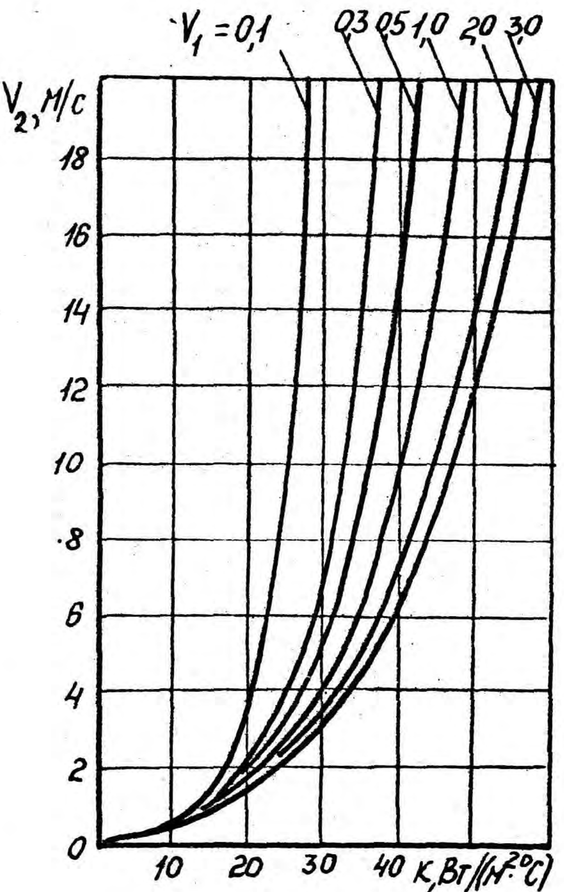
Черт. 35

Зависимости для теплообменников типа ВЖ.
Теплоноситель – трансформаторное масло

Зависимость $\Delta P_1 = f(V_1)$

Черт. 36

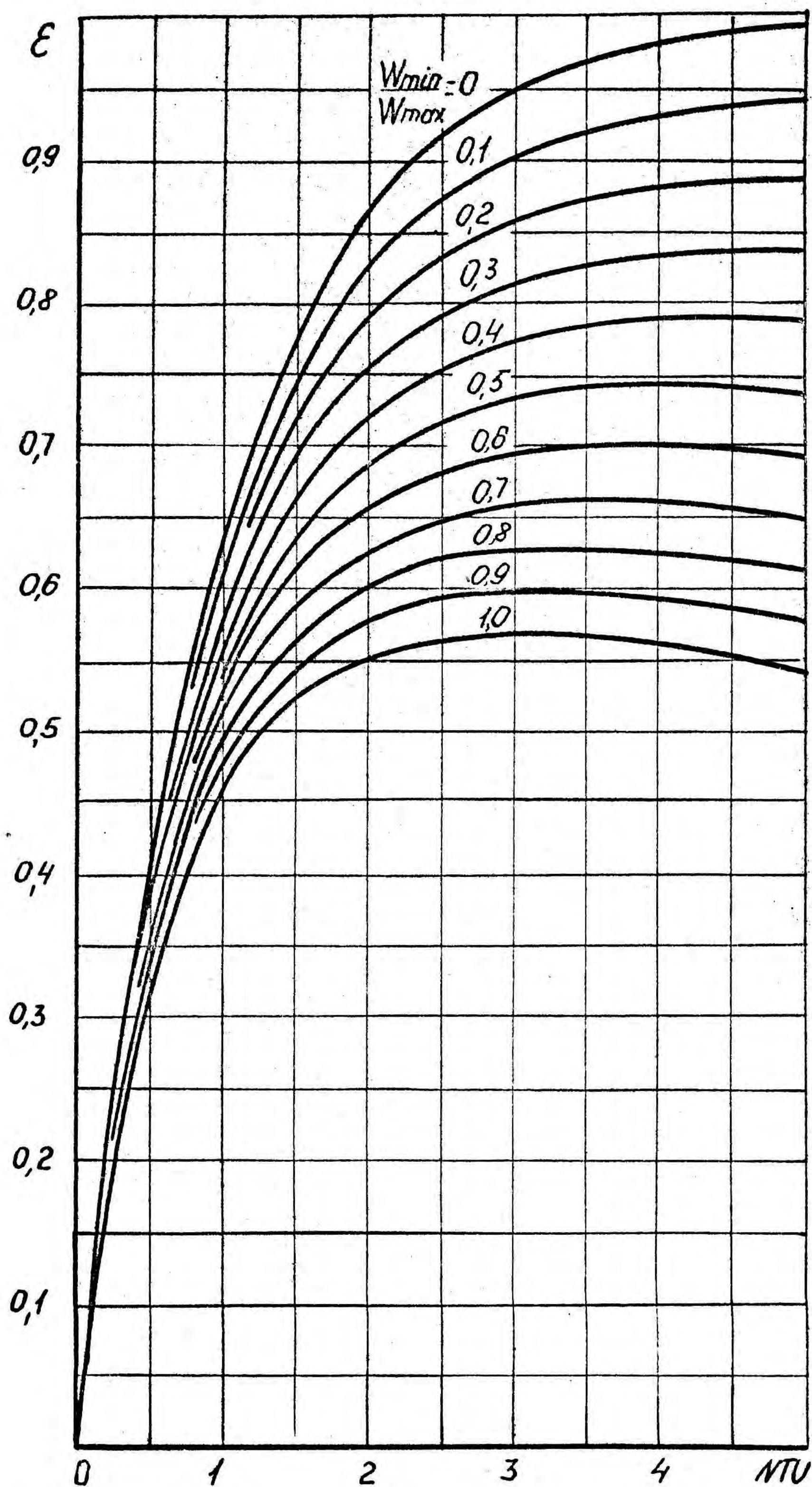
Зависимость $K = f(V_1, V_2)$



Черт. 37

Зависимость $\mathcal{E} = f\left(\frac{W_{min}}{W_{max}}, NTU\right)$

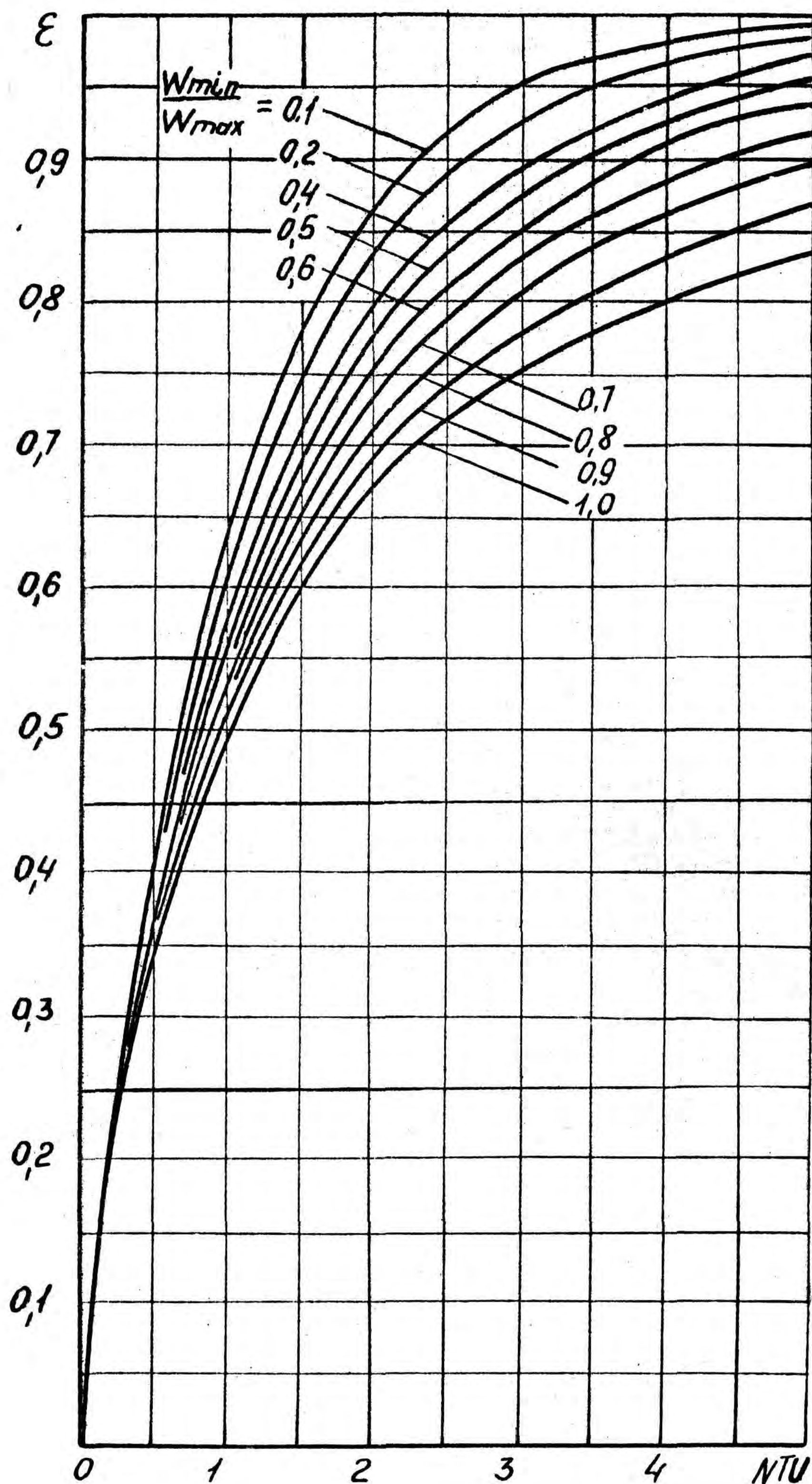
для теплообменников типа ВВ и ВЖ



Черт. 38

Зависимость $\mathcal{E} = f(\frac{W_{min}}{W_{max}}, NTU)$

для теплообменников типа ЖЖ



Черт. 39

4.2.6. По черт. 7 для полученных скоростей теплоносителей определяют K=79 Вт/($м^2\cdot{}^oC$)

4.2.7. Расчет теплообменника ВВ3,9 выполняют в следующей последовательности:

по формуле (1) определяют W_1 = 191,75 Вт/^oC и W_2 = 168,32 Вт/^oC;

по формуле (2) определяют NTU = 1,83;

по формуле (3) или по черт. 38 при $\frac{W_{min}}{W_{max}}$ = 0,88 определяют $\mathcal{E}$ = 0,57;

по формуле (5) определяют Q_p = 2782 Вт;

из формулы (6) определяют t_1'' = 65,49 ^oC и t_2'' = 67,53 ^oC.

4.2.8. Последовательность расчета теплообменника ВВ7,4 аналогична приведенной в п. 4.2.7:

W_1 = 378,18 Вт/^oC, W_2 = 319,59 Вт/^oC, NTU= 1,83,

$\mathcal{E}$ = 0,58 при $\frac{W_{min}}{W_{max}}$ = 0,85, Q_p = 5375,5 Вт.

t_1'' = 65,79 ^oC, t_2''= 67,82 ^oC.

4.2.9. Суммарное количество тепла Q, отводимое теплообменниками ВВ3,9 и ВВ7,4, составит 8157,5 Вт.

4.3. Пример решения задачи 2

4.3.1. Для решения задачи 2 приняты следующие исходные данные:

теплообменник типоразмера ЖЖ1,32 из нержавеющей стали;

теплоносители: ПМС-10 – контур 1, дистиллированная вода – контур 2;

Q = 4700 Вт;

G_1 = 0,6 . 10^{-3} $м^3/с$, t_1' = 80 ^oC, ΔP_1 = 0,006 МПа;

G_2 = 1,0 · 10^{-3} $м^3/с$, ΔP_2 = 0,008 МПа;

теплофизические характеристики теплоносителей при температуре 60 ^oC:

ПМС-10: ρ_1= 901 кг/$м^3$, C_{p1} = 1695 Дж/(кг · ^oC);

дистиллированная вода: ρ_2=983,1 кг/$м^3$, C_{p2} = 4179 Дж/(кг · ^oC).

Определить t_2'.

Расчет выполняют с помощью графиков, представленных на черт. 8, 12, 13, 39.

4.3.2. По черт. 8, 12 определяют V_1 = 0,24 м/с, V_2 = 0,41 м/с, ΔP_1= 0,005 МПа и ΔP_2= 0,004 МПа. Полученные значения ΔP не превышают заданные.

4.3.3. По черт. 13 для полученных скоростей теплоносителей определяют $\alpha_{пр1}$ = 290 Вт/($м^2$ · ^oC) и $\alpha_{пр2}$= 1120 Вт/($м^2$ · ^oC).

4.3.4. Определяют коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{пр2}} + \frac{1}{\alpha_{пр1}\cdot\psi}} = 239{,}6\ Вт/(м^2\cdot{}^oC),$$

где ψ – отношение площадей теплопередающих поверхностей первого и второго контуров. Значения ψ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Типоразмер теплообменника	ЖЖ0,06	ЖЖ0,24	ЖЖ0,54	ЖЖ1,32
ψ	1,50	1,25	1,11	1,05

4.3.5. Дальнейший расчет выполняют в следующей последовательности:
по формуле (1) определяют W_1 = 540,6 Вт/°С и W_2 = 4108,37 Вт/°С;
по формуле (2) определяют NTU = 0,585;
по формуле (4) или по черт. 39 при

$$\frac{W_{min}}{W_{max}} = 0{,}13$$

определяют ε =0,45;
из формулы (6) определяют t_2' = 60,7 °С.

4.4. Пример решения задачи 3

4.4.1. Для решения задачи 3 приняты следующие исходные данные:
теплообменник типоразмера ВЖ4,8 из алюминиевых сплавов;
теплоносители: антифриз 65 – контур 1; воздух – контур 2;

Q = 6800 Вт;
$G_1 = 0{,}75 \cdot 10^{-3}$ м³/с, t_1' = 74 °С, $\Delta P_1 = 20 \cdot 10^3$ Па; t_2' = 50 °С, ΔP_2 = 650 Па;

теплофизические характеристики теплоносителей при температуре 60 °С:
воздух (п. 4.2.1);
антифриз 65: ρ_1 = 1058 кг/м³, C_{p1} = 2986,1 Дж/(кг · °С).

Определить G_2.

Расчет выполняют с помощью графиков, представленных на черт. 14-17, 38.

4.4.2. Задаются начальной скоростью воздуха в первом приближении таким образом, чтобы выполнялось условие $\Delta P_{2р} = \Delta P_{2з}$.

По черт. 14 при ΔP_2 = 650 Па определяют V_2 = 15 м/с и G_2 = 0,53 м³/с.

4.4.3. По черт. 15, 16 определяют V_1 = 0,22 м/с и $\Delta P_1 = 6 \cdot 10^3$ Па. Полученное значение ΔP_1 не превышает заданное.

4.4.4. По черт. 17 по известным скоростям теплоносителей определяют K = 115 Вт/(м² · °С).

4.4.5. Определяют $Q_р$ и сравнивают с $Q_з$. Для этого по формуле (1) определяют W_2 = 564,61 Вт/°С и W_1 = 2369,47 Вт/°С.

По формуле (2) определяют NTU = 0,98.

По формуле (3) или по черт. 38 при $\frac{W_{min}}{W_{max}}$ = 0,24 определяют ε = 0,57.

По формуле (5) определяют Q = 7724,86 Вт. $Q_р > 1{,}1 Q_з$ (п. 4.1.9). Расчет продолжают, уменьшив значение V_2 (G_2).

4.4.6. Принимают, что изменение Q прямо пропорционально изменению скорости воздуха. Из известных величин $Q_з$, $Q_р$ и V_2 определяют скорость воздуха V_2 = 13 м/с.

По черт. 14 при найденном значении V_2 определяют G_2 = 0,46 м³/с и ΔP_2 = 510 Па.

4.4.7. По черт. 17 определяют K = 108 Вт/(м² · °С).

4.4.8. Расчет повторяют аналогично приведенному в п. 4.4.5:

W_2 = 490,04 Вт/°С, NTU = 1,06, ε = 0,61 при $\frac{W_{min}}{W_{max}}$ = 0,21, $Q_р$ = 7174,2 Вт $\approx 1{,}05 Q_з$.

Расчетное значение G_2 = 0,46 м³/с.

4.5. Пример решения задачи 4

4.5.1. Для решения задачи 4 приняты следующие исходные данные:
ряд типоразмеров теплообменников типа ВЖ из нержавеющей стали;
теплоносители: воздух – контур 2, дистиллированная вода – контур 1;
$Q = 20000$ Вт;
$G_1 = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^3/с, $t'_1 = 35$ °С, $\Delta P_1 = 40 \cdot 10^3$ Па;
$G_2 = 0{,}8$ м^3/с, $t'_2 = 70$ °С, $\Delta P_2 = 1000$ Па;

теплофизические характеристики теплоносителей при температуре 60 °С:
воздух (см. п. 4.2.1);
дистиллированная вода (см. п. 4.3.1).

Определить типоразмер теплообменника (количество типоразмеров теплообменников и способ их компоновки), удовлетворяющий заданным условиям.

Расчет выполняют с помощью графиков, представленных на черт. 26, 27, 32, 33, 38.

4.5.2. По черт. 26 из условия $\Delta P_{2р} \leqslant \Delta P_{2з}$ при заданном значении $G_2 = 0{,}8$ м^3/с определяют типоразмер теплообменника (теплообменников) и их количество. Заданным условиям соответствует один теплообменник ВЖ7,9Н12,9 (см. пп. 4.1.8, 4.1.10).

4.5.3. По черт. 26, 27 для заданных расходов теплоносителей определяют $V_2 = 12{,}9$ м/с и $V_1 = 0{,}81$ м/с.

4.5.4. По черт. 26, 32 определяют $\Delta P_2 = 460$ Па и $\Delta P_1 = 22 \cdot 10^3$ Па. Полученные значения ΔP не превышают заданные.

4.5.5. По черт. 33 для полученных скоростей теплоносителей определяют $K = 70$ Вт/(м^2 · °С).

4.5.6. Дальнейший расчет выполняют в следующей последовательности:
по формуле (1) определяют $W_2 = 852{,}24$ Вт/°С и $W_1 = 9872{,}80$ Вт/°С;
по формуле (2) определяют $NTU = 1{,}06$;
по формуле (3) или по черт. 38 при $\frac{W_{min}}{W_{max}} = 0{,}9$ $\varepsilon = 0{,}63$;
по формуле (5) определяют $Q = 18792$ Вт.

$Q_р < Q_з$ (см. п. 4.1.9).

4.5.7. Увеличивают количество теплообменников до двух. Соединяют по обоим теплоносителям последовательно. Проверяют ΔP:
$\Delta P_2 = 460 \cdot 2 = 920$ Па, $\Delta P_1 = 22000 \cdot 2 = 44 \cdot 10^3$ Па.
Полученное значение ΔP_1 превышает $\Delta P_з$. Вариант отбрасывают.

4.5.8. Теплообменники соединяют последовательно по контуру 2 и параллельно по контуру 1. Расход жидкого теплоносителя на каждый теплообменник составит $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ м /с.
По черт. 27, 32 определяют $V_1 = 0{,}4$ м/с и $\Delta P_1 = 7 \cdot 10^3$ Па.

4.5.9. По черт. 33 для $V_1 = 0{,}4$ м/с и $V_2 = 12{,}9$ м/с определяют $K = 63{,}5$ Вт/(м^2 · °С).

4.5.10. Дальнейший расчет выполняют в следующей последовательности:
по формуле (1) определяют $W_1 = 4936{,}45$ Вт/°С;
по формуле (2) определяют $NTU = 0{,}96$;
по формуле (3) или по черт. 38 при $\frac{W_{min}}{W_{max}} = 0{,}17$ определяют $\varepsilon = 0{,}59$;

по формуле (5) для теплообменника, расположенного первым по ходу движения воздуха, определяют $Q = 17598{,}75$ Вт;
из формулы (6) определяют $t''_1 = 38{,}57$ °С и $t''_2 = 49{,}35$ °С;

по формуле (5) определяют Q = 7215,49 Вт для второго теплообменника, принимая температуру воздуха на входе в теплообменник равной значению температуры воздуха на выходе из первого теплообменника.

Суммарное количество тепла Q, отведенное двумя теплообменниками ВЖ7,9Н12,9, составит 24814,24 Вт. $Q_р > 1,1Q_з$ (см. п. 4.1.9).

4.5.11. Проверяют возможность использования блока из двух теплообменников ВЖ4,8Н7,8 с меньшим значением F, соединенных по контуру 2 параллельно и последовательно по контуру 1.

4.5.12. По черт. 26, 27, 32 определяют V_1 = 0,81 м/с, $\Delta P_1 = 37 \cdot 10^3$ Па, V_2 = 10,8 м/с, ΔP_2 = 325 Па.

4.5.13. По черт. 33 для полученных скоростей теплоносителей определяют K = 65 Вт/($м^2 \cdot {}^\circ C$).

4.5.14. Значения величин W, NTU, $\mathcal{E}$ для обоих теплообменников одинаковы:

по формуле (1) определяют W_1 = 9872,80 Вт/°С и W_2 = 426,12 Вт/°С;

по формуле (2) определяют NTU = 1,21;

по формуле (3) или по черт. 38 при $\frac{W_{min}}{W_{max}}$ = 0,04 определяют $\mathcal{E}$ = 0,69;

по формуле (5) для теплообменника, расположенного первым по ходу движения жидкости, определяют Q = 10290,79 Вт;

из формулы (6) определяют t_1'' = 36,04 °С и t_2'' = 45,85 °С;

по формуле (5) определяют Q = 9985,01 Вт для второго теплообменника, принимая t_1' = 36,04 °С.

Суммарное количество тепла Q , отведенное двумя теплообменниками ВЖ4,8Н7,8, составит 20275,80 Вт. $Q_з < Q_р < 1,1Q_з$ (см. п. 4.1.9).

Заданным условиям задачи удовлетворяют два теплообменника ВЖ4,8Н7,8, соединенных параллельно по контуру 2 (воздух) и последовательно по контуру 1 (жидкость).

4.5.15. Дальнейший расчет блоков теплообменников, состоящих из меньших типоразмеров теплообменников, проводить нецелесообразно, так как эти блоки будут обладать худшими массогабаритными характеристиками.

СОДЕРЖАНИЕ